



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LUCIANA FERREIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DA MADEIRA DE SEIS CLONES DE HÍBRIDOS
DE *EUCALYPTUS* PARA O PROCESSAMENTO MECÂNICO

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2018

LUCIANA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DA MADEIRA DE SEIS CLONES DE HÍBRIDOS
DE *EUCALYPTUS* PARA O PROCESSAMENTO MECÂNICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientador: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2018

**AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DA MADEIRA DE SEIS CLONES DE HÍBRIDOS DE
EUCALYPTUS PARA O PROCESSAMENTO MECÂNICO**

Luciana Ferreira da Silva

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

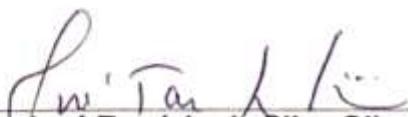
Aprovada em 01 de março de 2018.



Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho (Examinador externo)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



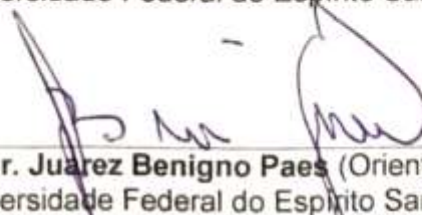
Dr. Yonny Martínez López (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Djeison Cesar Batista (Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

S586a Silva, Luciana Ferreira da, 1983-
Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de Eucalyptus para o processamento mecânico / Luciana Ferreira da Silva. – 2018.
90 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.
Coorientador: Djeison Cesar Batista.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Eucalipto. 2. Madeira serrada – Secagem. 3. Madeira – Química. I. Paes, Juarez Benigno. II. Batista, Djeison Cesar. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

Às pessoas mais importantes para mim,
meus pais Carlos Roberto e Maria José,
que muitas vezes se doaram e
renunciaram aos seus sonhos, para que
eu pudesse realizar os meus. Quero dizer
que essa conquista não é só minha, mas
nossa. Tudo que consegui só foi possível
graças ao amor, apoio e dedicação que
vocês sempre tiveram por mim.

Afetuosamente dedico!

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é dirigido, primeiramente a Deus, por permitir que tudo acontecesse e mais esta etapa da minha vida pudesse ser concluída.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade e suporte necessário para a realização desta pesquisa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela disponibilidade de bolsa e taxa de bancada que tanto contribuíram para a realização e divulgação deste trabalho.

Ao Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda., em especial ao Sr. Almir Amed Deud, pela doação da madeira de eucalipto utilizada neste estudo, pelo suporte durante o período de coleta de dados de campo e pelo transporte do material de pesquisa.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela amizade, paciência, disponibilidade, orientação e conhecimentos transmitidos para minha vida pessoal e também para a execução desta tese.

Ao Professor Dr. Djeison Cesar Batista, pela coorientação, disponibilidade e conselhos.

Ao Professor Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho e aos membros da Banca Examinadora (Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho e ao Pesquisador Dr. Yonny Martínez López) pelas sugestões e disponibilidade.

Aos meus pais Carlos Roberto e Maria José, sempre presentes, apoiando, incentivando e ajudando durante todos os momentos, compreendendo a fase pela qual eu estava passando. Eles, durante a realização deste trabalho, sempre tentaram entender minhas dificuldades e ausências, procurando se aproximar de mim por meio da própria Tese, ajudando durante algumas etapas de coleta e montagem dos experimentos. Agradeço ainda por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores.

Aos colegas de laboratório que contribuíram de forma direta ou indireta, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo. Para não correr o risco de não

enumerar algum, não vou discriminá-los, aqueles a quem este agradecimento se dirige sabê-lo-ão, desde já os meus sinceros agradecimentos.

Aos Técnicos de Laboratório Luciano, José Geraldo, Elecy e Gilberto (*in memoriam*), à Secretária da pós-graduação Elizangela e demais funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pela ajuda, conselhos e paciência.

Aos graduandos Thais, Giovanni, Mayra e Fernanda, e estagiários da Escola Família Agrícola de Cachoeiro de Itapemirim (EFACI) pela ajuda durante a condução dos experimentos.

Aos amigos que entraram em minha vida por meio deste doutorado, João Gabriel, Mariana, Vilene, Denise, Glaucileide, Daniela, Yonny e também aos que estão aqui comigo desde a graduação, Vinicius e Joyce; agradeço-lhes por tudo, especialmente pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis pelos quais passei, tanto na vida acadêmica quanto na pessoal.

Não poderia deixar de agradecer aos meus familiares por todo o carinho que sempre me prestaram ao longo de minha vida acadêmica, bem como, à elaboração da presente Tese a qual sem o seu apoio, teria sido impossível. Gostaria de agradecer em especial às primas Livia, Laiz e Débora, meu tio Lúcio e meu avô Zito, pelos momentos em que eu precisei de ajuda, e estiveram presentes e dispostos a colaborar. Agradeço-lhes, carinhosamente, por tudo isto.

Finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

Luciana Ferreira da Silva, filha de Edival Ferreira da Silva e Maria José Ferreira da Silva nasceu em 14 de outubro de 1983, no município de Alegre, Estado do Espírito Santo.

Concluiu o Ensino Médio (2º grau) integrado com o Curso de Técnico Agrícola, na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (EAFA), atualmente Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Alegre - ES, em 2001.

Obteve o grau de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Alegre (FAFIA) - Alegre - ES, em 2005.

Em 2009 recebeu o título de Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre - ES.

No ano de 2011 concluiu a Pós-Graduação *Lato Sensu* em Educação, Governança e Direito Ambiental: A Gestão dos Espaços Antroponizados, pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Alegre (FAFIA) - Alegre - ES.

Em 2011, concluiu o Mestrado em Ciências Florestais no Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Jerônimo Monteiro - ES.

Em 2014 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, em nível de Doutorado, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Jerônimo Monteiro- ES, submetendo-se à defesa da tese em 1 de março de 2018.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 PROBLEMA E HIPÓTESE	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i>	16
2.2 DESAFIOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i> : DESDOBRO E SECAGEM.....	17
2.3 TENSÕES DE CRESCIMENTO	20
2.4 DEFEITOS DA SECAGEM NATURAL	21
2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	22
2.6 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS	25
2.7 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL	31
3.2 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS	32
3.3 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	33
3.4 ÍNDICE DE RACHADURAS DE TOPO DE TORAS – IRTT E DESDOBRO	35
3.5 PILHA DE SECAGEM E AVALIAÇÃO DE DEFEITOS DE TÁBUAS	37
3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	38
3.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	39
3.7.1 Ensaios destrutivos	39
3.7.2 Ensaios não destrutivos	40
3.8 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA.....	41
3.9 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM AGENTES XILÓFAGOS	42
3.9.1 Ensaio com fungos apodrecedores	42
3.9.3 Ensaio com térmitas de madeira seca	47
3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E DA MADEIRA	51
4.2 ÍNDICE DE RACHADURAS DE EXTREMIDADES DE TORAS - IRTT.....	55

4.3 EMPENAMENTOS E RACHADURAS DE TÁBUAS SATURADAS	55
4.4 SECAGEM NATURAL DA MADEIRA, EMPENAMENTOS E RACHADURAS DE TÁBUAS SECAS.....	58
4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	62
4.5.1 Ensaios destrutivos	62
4.5.2 Ensaios não destrutivos	64
4.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS MADEIRAS AVALIADAS	67
4.7 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS.....	70
4.8 ENSAIO COM TÉRMITAS XILÓFAGAS	72
4.8.1 Térmitas subterrâneas (Alimentação forçada)	72
4.8.2 Térmitas subterrâneas (Preferência alimentar).....	73
4.8.3 Térmitas de madeira seca	75
5. CONCLUSÕES.....	77
6 REFERÊNCIAS	78

SILVA, L. F. **Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientador: Porf. Dr. Djeison Cesar Batista.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar as características da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, a fim de selecionar aqueles que apresentem melhores características dendrométrica, propriedades químicas, físicas e mecânicas e resistência biológica adequadas para a produção de madeira serrada. Foram avaliadas as características de 18 árvores (três de cada clone), como; conicidade, relação cerne:alburno, excentricidade da medula e desvio de grã. Determinadas as evoluções das rachaduras de base e topo de toras logo após o corte das árvores. Analisados os empenamentos e rachaduras em extremidade de tábuas (antes e após o período de secagem ao ar), as propriedades físicas (densidade básica e estabilidade dimensional da madeira), mecânicas (compressão paralela às fibras, flexão estática e dureza Janka), características químicas (holocelulose, lignina, extrativos totais e cinzas) e a resistência biológica da madeira [ensaios de apodrecimento acelerado (podridão parda e branca) e ensaios com térmitas xilófagas (subterrâneas e de madeira seca)]. O efeito dos tratamentos foi verificado pela aplicação da análise de variância e teste F ($p < 0,05$) e, quando foi significativo, aplicou-se o teste de Scott Knott ($p < 0,05$), para discriminação das médias. Para a densidade da árvore, o clone C, seguido pelo E, produziu madeira mais densa, e os A, B e F de menores densidades. Não houve diferença entre as rachaduras desenvolvidas na base das toras dos clones avaliados. No topo dos clones C, D e E ocorreram os maiores índice de rachadura, e os menores no A, B e F. Ao avaliar a madeira em estado úmido e seco, o clone A rachou menos. Para as condições avaliadas 100 dias foram suficientes para que a madeira serrada entrasse em equilíbrio com o ambiente. De maneira geral, para a densidade da madeira, o clone C apresentou valores superiores aos demais e o A produziu madeira de menor densidade e maior estabilidade dimensional. Quanto aos ensaios mecânicos, os clones C e F foram os mais resistentes. A posição na madeira que teve maior teor de extrativos e lignina foi o cerne externo. A maior quantidade de cinzas e holocelulose foi observada no cerne interno. O clone C de maneira geral foi o mais resistente a organismos xilófagos.

Palavras-chave: Características das árvores, madeira serrada, secagem natural, propriedades da madeira, ensaios biológicos.

SILVA, L. F. **Technological properties of *Eucalyptus* clones implanted for sawmill**. 2018. Thesis (Doctor in Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coadvisor: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the wood characteristics of six *Eucalyptus* hybrid clones of 14 years old in order to select those with the best dendrometric characteristics, chemical, physical and mechanical properties and biological resistance suitable for the production of sawn wood. The characteristics of 18 trees (three of each clone), such as taper, relation heartwood: sapwood, pith eccentricity, and grain diversion were evaluated. The evolutions of the base cracks and top of logs shortly after cutting the trees were determined. The physical properties (basic density and dimensional stability of the wood), mechanical properties (parallel compression to fibers, static flexion and Janka hardness), chemical characteristics (holocellulose, lignin, total extractives and ash) and the biological resistance of wood (accelerated decay (brown and white rot) and xylophagous (underground and dry wood) termites] were evaluated. The effect of the treatments was verified by applying the analysis of variance and F test ($p < 0.05$) and, when significant, the Scott Knott test ($p < 0.05$) was applied to discriminate the means. For tree density, clone C, followed by E, produced denser wood, and A, B and F of lower densities. There was no difference between the cracks developed at the base of the logs of the evaluated clones. At the top of clones C, D and E, the highest crack index occurred, and the lowest at A, B and F. When evaluating the wood in a wet and dry state, clone A cracked less. For the evaluated conditions 100 days were sufficient for the wood to enter in equilibrium with the environment. In general, for wood density, clone C presented values higher than the others and A produced wood of lower density and greater dimensional stability. For the mechanical tests, the clones C and F were the most resistant. The position in the wood that had the highest content of extractives and lignin was the external core. The highest amount of ash and holocellulose was observed in the inner core. The clone C was generally the most resistant to xylophagous organisms.

Keywords: Characteristics of trees, sawn wood, natural drying, wood properties, biological tests.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017), a área com florestas plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, representando um ganho de 0,5% em relação a 2015, exclusivamente pelo aumento dos plantios de *Eucalyptus*. As áreas deste gênero ocupam 5,7 milhões de hectares no País, e os fatores que contribuíram com isto, foram os novos plantios para atender à demanda futura dos projetos industriais do segmento de celulose e papel, energia, madeira serrada e painéis reconstituídos de madeira.

A expansão na área de florestas plantadas de *Eucalyptus* é uma resposta às necessidades do aumento populacional e também, às pressões ambientais quanto ao uso de espécies nativas. A alta produtividade florestal, resultando em ciclos de curta duração, e a expansão e direcionamento de novos investimentos por parte de empresas que utilizam madeira de *Eucalyptus* como matéria-prima, também contribuíram para o aumento da área florestal.

Inicialmente, o objetivo principal do melhoramento genético de *Eucalyptus* no Brasil foi a produtividade volumétrica por hectare para se produzir polpa celulósica, ao passo que as propriedades da madeira eram pouco consideradas. Porém, diante da disponibilidade de material, adequado à legislação ambiental (plantio e colheita) e com potencial para se explorar técnicas de processamento, surgiu o interesse em utilizar a madeira em produtos do processamento mecânico secundário (pisos, molduras e móveis), em substituição à de florestas nativas.

Dessa forma, os programas de melhoramento genético também têm trabalhado atualmente, com o objetivo de selecionar clones com características físico-mecânicas e biológicas desejáveis para finalidades definidas, além de materiais genéticos estáveis e adaptados a diferentes ambientes. As tensões de crescimento, no entanto, reduzem o rendimento do desdobro das toras de *Eucalyptus*, causando rachaduras e empenamentos na madeira serrada, mesmo na condição saturada. Soma-se a isso a baixa durabilidade natural de algumas espécies, representando fatores limitantes para a posterior utilização da madeira, principalmente a jovem, em produtos do processamento mecânico secundário.

A durabilidade natural da madeira determina sua utilização, principalmente em regiões de clima tropical, onde as condições de temperatura e umidade proporcionam condições adequadas para o desenvolvimento de xilófagos. Esses

organismos têm uma atividade intensa e a degradação biológica pode ocorrer até em árvores vivas, principalmente aquelas em situação de estresse, como competição, déficit hídrico, incidência de ventos e deficiência nutricional.

Assim, é importante avaliar clones de *Eucalyptus* que possuam baixos índices de rachaduras de topo em toras, rachaduras e empenamentos na madeira serrada, boas propriedades físicas e mecânicas, além de durabilidade natural satisfatória, para a indicação de produção de madeira serrada e potencial uso em produtos do processamento mecânico secundário. Dessa forma, será possível tanto aproveitar melhor, quanto agregar valor à matéria-prima, alcançando-se uma utilização mais racional e economicamente viável dos empreendimentos florestais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aptidão da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade, a fim de subsidiar a seleção de materiais genéticos apropriados para a produção de madeira serrada.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar as características dendrométricas de seis clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, implantados para produzir madeira serrada.

Caracterizar o índice de rachaduras de topo de toras e a qualidade da madeira serrada (antes e após a secagem natural) de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* implantados com o objetivo de se produzir madeira serrada.

Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* destinados à serraria.

Verificar a resistência biológica da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* a organismos xilófagos, para posteriormente, relacionar a composição química da madeira com a resistência à biodetreioração.

1.3 PROBLEMA E HIPÓTESE

Para que a madeira seja utilizada em escala industrial, como matéria prima, é necessário que ela tenha características uniformes quanto a cor, densidade, resistência mecânica e trabalhabilidade. Porém a mesma é um material biológico e heterogêneo, o que dificulta o atendimento a todas essas características desejáveis. Por outro lado, os plantios clonais de *Eucalyptus* têm possibilidade de produzir madeira mais homogênea, o que pode refletir em maior qualidade no produto final.

A qualidade da madeira pode ser estimada com base nas características dendrométricas, propriedades físicas, mecânicas, químicas e biológicas, em que suas variabilidades e possíveis correlações com outros parâmetros da madeira possam influenciar no produto final. Assim, as características da madeira influenciarão na escolha para algumas finalidades, principalmente para a produção de produtos do processamento secundário (pisos, molduras e móveis).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *EUCALYPTUS*

O gênero *Eucalyptus*, pertence à família Myrtaceae, é originário da Austrália, exceto as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus deglupta*, que são oriundas das ilhas da Oceania. Mais de 670 espécies já foram identificadas e também existe grande número de variedades e híbridos, naturais ou não (BERTOLA, 2013). Em escala mundial, o plantio de eucalipto se destaca, estima que 20 milhões de hectares estejam plantados e distribuídos em zonas tropicais, subtropicais e temperadas (REJMÁNEK; RICHARDSON, 2011).

Segundo a IBÁ (2017), o setor brasileiro de florestas plantadas possui uma área de 7,84 milhões de hectares, deste total, 5,7 milhões de hectares são de eucalipto. Desta forma, dentre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira nacional, comprova-se que o gênero *Eucalyptus* está entre os mais importantes. A implantação de florestas deste, tanto em pequena, quanto em larga escala, está relacionada a algumas características do gênero, principalmente; o rápido crescimento; diversidade de espécies; adaptação às diversas condições de clima e solo; facilidade de propagação (sexuada e assexuada) e uso múltiplo (STACKPOLE et al., 2011).

O setor brasileiro de florestas plantadas vem apresentando aumento de produtividade florestal, sendo resultante, além dos fatores ambientais favoráveis a silvicultura, da aplicação de novas tecnologias, como o melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Este aprimoramento tem levado o Brasil se destacar na produtividade florestal de espécies plantadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2013; TORRES et al., 2016).

A hibridação é empregada como técnica de desenvolvimento de novos materiais genéticos, com intuito de gerar indivíduos com vantagens específicas (CARVALHO, 2010). Os materiais híbridos unem em uma mesma planta características desejáveis de espécies distintas, agregando em menos tempo, propriedades de interesse na matéria-prima, para atender aos mais diversos usos, como; celulose e papel, energia, produtos do processamento mecânico secundário e painéis reconstituídos de madeira (IBA, 2017).

Os híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* têm rápido crescimento, com ciclos de corte variando entre seis e sete anos de idade. Para a produção de madeira serrada para fins de beneficiamento secundário, são necessários materiais com quantidade significativa de lenho adulto (BASSA et al., 2007).

As boas características de crescimento, aliadas a um padrão de qualidade aceitável, levaram as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (assim como os seus híbridos) a serem utilizadas como matéria-prima nas serrarias e demais indústrias madeireiras do Brasil. Segundo Barbosa (2013), a rusticidade, a resistência mecânica e a tolerância ao déficit hídrico do *Eucalyptus urophylla* conferem a espécie alto potencial para ser empregada em programas de hibridação com o *Eucalyptus grandis*, que possui boas características silviculturais, resultando em um material homogêneo e com qualidade apropriada para fins industriais.

O eucalipto é uma das espécies mais importantes na indústria madeireira brasileira (BATISTA et al., 2016), em virtude da facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira (BATISTA et al., 2010). A utilização da madeira de eucalipto tem aumentado, principalmente quando é utilizado o conceito de floresta de múltiplo uso, que explora todo o potencial da madeira de eucalipto. Alguns usos tradicionais já estão consolidados, como lenha industrial, carvão vegetal e celulose. No entanto, muitos outros usos para a madeira, como postes, dormentes, construção civil, movelaria, componentes estruturais, que podem contribuir com um retorno econômico, precisam ser aprimorados e avaliados (SILVA, 2011). A avaliação da resistência natural da madeira é de fundamental importância no uso correto dos produtos provenientes desse material.

2.2 DESAFIOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*: DESDOBRO E SECAGEM

A demanda de madeira serrada de qualidade, visando atender aos mercados nacional e internacional, tem crescido desde que a mesma passou a ocupar lugar de destaque dentre os diversos materiais consumidos na sociedade (ANDRADE, 2001). Por outro lado, com a pressão ambiental, aquelas advindas de reflorestamentos, principalmente as do gênero *Eucalyptus*, passaram a ganhar importância para

diversos fins, como; construção civil, embalagens, pallets, calços e caixotaria em geral.

A redução da disponibilidade da madeira de florestas tropicais fez com que as espécies de *Eucalyptus* passassem a constituir uma alternativa no abastecimento das indústrias madeireiras. São os casos, por exemplo, da construção civil e da indústria moveleira (ASHLEY; OZARKA, 2000).

O gênero *Eucalyptus* tem diversos atributos, dentre eles, destaca-se a sua capacidade produtiva, a adaptabilidade a diversos ambientes e, sobretudo, a expressiva diversidade de espécies, o que possibilita atender a requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999). Por outro lado, a madeira desse gênero tem, de modo geral, defeitos intrínsecos, os quais comprometem decisivamente a sua utilização para usos considerados mais nobres. Assim, apesar dos atributos de caráter silvicultural serem vantajosos, os tecnológicos, quase sempre, têm limitações para utilização industrial.

Entretanto, a madeira proveniente de árvores jovens da maioria das espécies de *Eucalyptus* tem limitações técnicas que a madeira tropical não possui, como; grande proporção de madeira jovem, elevado índice de rachaduras de topo das toras, desvios de grã, instabilidade dimensional e tensões de crescimento significativas. Essas características resultam em baixo rendimento no desdobro e em baixa qualidade da madeira serrada, principalmente pela ocorrência de rachaduras e empenamentos (VERMAAS, 2000).

Essas características, associadas à baixa permeabilidade, caracterizam a madeira de *Eucalyptus* como de difícil secagem, por causa de sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de líquidos. Nesse sentido, durante o processo de secagem surgem vários defeitos, como rachaduras, empenamento e colapso, o que, sem dúvida, afeta a qualidade e o rendimento em madeira serrada (ANJOS et al., 2011). As rachaduras, de modo particular, relacionadas com as tensões de crescimento, desvios de grã e instabilidade dimensional, resultam em perdas durante o processamento industrial da madeira de *Eucalyptus*, (JANKOWSKY, 1995; LELLES; SILVA, 1997), sendo indicada para produtos menos exigentes, em termos de qualidade como as embalagens.

A obtenção de madeira serrada com qualidade, capaz de atender aos diversos usos é possível por meio da adoção de medidas conjuntas que se iniciam com a escolha do material genético, qualidade do sítio, tratamentos silviculturais e se

estendem pelo processo de colheita, transporte, desdobro e, principalmente pela secagem da madeira (CAIXETA et al., 2002).

A realização adequada do processo de secagem da madeira serrada, antes da sua transformação em bens e produtos é, reconhecidamente, a fase mais importante de todo o beneficiamento que visa agregar valor ao produto final (ANJOS et al., 2011). Para a madeira de eucalipto, principalmente a proveniente de árvores jovens, em decorrência da predominante proporção de lenho juvenil existente, isto se torna um desafio, necessitando de pesquisas, a fim de investigar a melhor forma de obtenção de produtos para os fins a que se destinam, com o menor tempo e defeitos possíveis.

No entanto, isto não é uma atividade de fácil execução. Conforme Simpson (1991), cerca de 60 a 70% dos gastos em energia para a produção de madeira serrada ocorrem na fase de secagem. Além disso, essa é a fase que, de modo geral, despende maior tempo no beneficiamento, demandando alguns cuidados durante a preparação da carga de secagem, principalmente no empilhamento da madeira e na classificação do material.

A classificação do material por densidade e a padronização da espessura, largura e comprimento das peças obtidas, contribuem para melhorar a uniformidade da secagem. Práticas adequadas de empilhamento e localização de pátios e pilhas, como os descritos por Mendes et al. (1996), devem ser adotados para que a madeira tenha o mínimo possível de defeitos e perdas, durante o processo de secagem.

Pesquisas com diferentes materiais genéticos podem encontrar alternativas para amenizar os defeitos na produção de madeira serrada, tanto na formação como no desdobro e secagem do material. Tais alternativas podem ser utilizadas para minimizar problemas que, frequentemente ocorrem em árvores jovens de eucalipto, como defeitos de formação do tronco, presença de nó, veios de quino, conicidade, achatamentos e rachaduras (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Para atender ao mercado de madeira serrada de eucalipto com níveis aceitáveis de defeitos, muito ainda deve ser realizado. Segundo Caixeta et al. (2002), uma solução para o problema seria a condução de novos empreendimentos florestais, pois as atuais florestas plantadas com espécies desse gênero, foram conduzidas para suprir as demandas dos setores de celulose e papel e a siderurgia a carvão vegetal.

2.3 TENSÕES DE CRESCIMENTO

A madeira, da maioria das espécies de *Eucalyptus*, comumente tem limitações técnicas o que dificulta a substituição das espécies tropicais por parte da indústria madeireira. As limitações mais importantes são representadas pelos empenamentos e rachaduras em toras e tábuas, as quais constituem os principais fatores de redução do rendimento industrial, em que ambas são causadas principalmente pelas tensões de crescimento (MALAN, 1995).

As tensões de crescimento (longitudinais e transversais) são características presentes nas árvores e estão relacionadas com o equilíbrio do tronco, suportando a copa, contra a ação de fatores como; vento e inclinação do terreno. Nas folhosas, dentre as quais se enquadram as espécies de *Eucalyptus*, elas são mais acentuadas do que nas coníferas, e a madeira desse gênero apresenta consideráveis níveis de tensões. Genericamente, as tensões de crescimento são consideradas esforços mecânicos, gerados durante o crescimento da árvore, que têm por finalidade manter a estabilidade da copa, quando solicitada por agentes atmosféricos, topográficos e, ou, tratos silviculturais (SOUZA, 2006).

As tensões de crescimento longitudinais são esforços mecânicos que se devem a deposição da lignina durante a diferenciação celular, o que resulta no inchamento da parede celular. Assim, para regiões em que o ângulo das microfibrilas da camada S2 for menor do que 40°, ocorrerá um encurtamento das células, e quando for maior do que 40°, ocorrerá um alongamento (TRUGILHO, 2005).

As tensões de crescimento transversais têm origem semelhante às longitudinais, pois por estarem comprimidas; as células estruturais periféricas tendem a se expandir na direção do diâmetro, tensionando os tecidos mais antigos e com isso aumentando seus diâmetros e reduzindo suas dimensões. Além disso, a parte central do tronco fica submetida a um aumento progressivo de esforço de tração, por causa da força cumulativa de arraste exercida pelas novas camadas de células (WILKINS, 1986; KLUBER, 1987).

As tensões de crescimento estão em equilíbrio enquanto a árvore está em pé, atuando como forma de fornecer estabilidade à planta (VAN WYK, 1978). Mas quando a mesma é cortada, ocorrem imediatamente deformações e rachaduras nos topos das toras, em função da modificação do estado de equilíbrio que vigorava durante o crescimento (FERRAND, 1983). Assim, a zona periférica da tora sob tração

tende a diminuir, ao passo que a parte central sob compressão, tende a expandir, o que causa as rachaduras de topo nas toras (MALAN, 1979).

Há suspeita de que as causas das altas tensões de crescimento estejam relacionadas com fatores genéticos, idades, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação do fuste (OPIE et al., 1984). As tensões de crescimento podem ser determinadas nas toras, após a derrubada, ou no tronco das árvores vivas. Vários métodos têm sido utilizados para se estimar o valor das mesmas, sendo uns considerados mais simples e práticos que outros. A maioria dos métodos utiliza o princípio da medição das alterações nos comprimentos de peças de madeira, após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro do tronco de uma árvore (LISBOA, 1993). Outros, similarmente, baseiam-se na medição de deformações ou deslocamentos provocados por perfurações diretamente em troncos ou toras. Estas deformações ou deslocamentos estão diretamente relacionados às tensões de crescimento, especialmente às longitudinais.

2.4 DEFEITOS DA SECAGEM NATURAL

Nos processos de beneficiamento, segundo Andrade (2000), a secagem é uma etapa de grande importância, pois proporciona vantagens, como a melhoria das características de trabalhabilidade, a utilização da madeira para diversas finalidades e a redução da movimentação dimensional e da possibilidade de ataque de fungos.

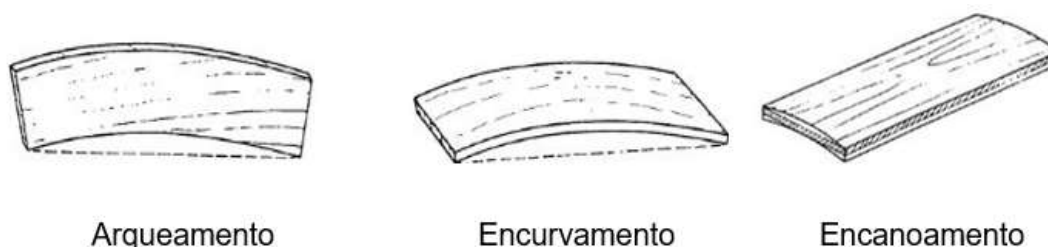
A escolha de um determinado método de secagem influencia no tempo de secagem, na qualidade do material seco e também na obtenção do teor de umidade desejado para determinada finalidade. É possível reduzir o tempo de secagem e a incidência de defeitos, quando o processo é conduzido de modo adequado.

A secagem ao ar livre consiste em empilhar a madeira em local ventilado, preferencialmente coberto, a fim de protegê-la da incidência dos raios solares e precipitações, fazendo-se o controle do teor de umidade em intervalos regulares até que atinja a umidade de equilíbrio do ambiente (SUSIN. et. al, 2014). Apesar de não necessitar de alto investimento inicial, há o inconveniente de demandar mais tempo quando comparada a outros métodos, além de apresentar um teor de umidade final que apresenta limitações para certos usos da madeira.

Os defeitos da madeira são considerados todas as anomalias da forma do tronco da árvore, da sua seção transversal, como também da estrutura e da cor da madeira que possam reduzir, restringir ou mesmo anular sua utilização.

Dentre os defeitos mais frequentes ocorridos durante a secagem provocados pelas tensões internas na madeira serrada de eucalipto encontram-se rachaduras de topo e ao longo da face da peça e os empenamentos (Figura 1). Tais defeitos dificultam e podem inviabilizar a utilização do eucalipto para madeira serrada (ROCHA; TOMASELLI, 2002).

Figura 1 – Principais defeitos ocorridos após a secagem natural.



Fonte: Mainieri (1983), citado por Calil Junior et al. (2000).

Empenamentos são todas aquelas distorções que ocorrem no comprimento da tábua. Ele pode ser causado por diferentes fatores, como; tensões internas da madeira, grã irregular e formação irregular das pilhas de madeira. As rachaduras ocorrem quando são formados gradientes de umidade acentuados em uma mesma tábua ou peça. Elas são mais frequentes em peças com maior espessura, uma vez que a tendência é secar mais a parte externa que a interna, ocasionando uma maior contração na superfície (MORESCHI, 2010).

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

A madeira é um material biológico, heterogêneo e bastante complexo, com elevada variabilidade em relação às suas características e propriedades. O estudo de suas propriedades físicas e mecânicas é necessário para aumentar o conhecimento sobre seu potencial de utilização, adequando seu uso, e ainda como alternativa para substituição de outras madeiras. Diferenças entre as propriedades da madeira estão presentes tanto entre espécies como entre indivíduos de mesma

espécie e até entre diferentes regiões de um mesmo indivíduo (BURGER; RICHTER, 1991).

Para Klitzke (2007), dentre os fatores inerentes à própria espécie florestal que influenciam na secagem da madeira, encontram-se a estrutura anatômica, a densidade e a anisotropia. Esse autor afirma que a mudança de volume verificada no material lenhoso em consequência da dessorção e adsorção de água são consideradas as propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando a utilização industrial.

A densidade é uma das características mais utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e em virtude de se correlacionar com diversas propriedades físicas e mecânicas, estrutura anatômica e espessura de parede de fibras da madeira. A densidade é definida fisicamente como a relação entre a massa da amostra por unidade de volume (BATISTA et al., 2010; MATTOS et al., 2011).

A idade da planta, procedência, local de origem, espaçamento e taxa de crescimento, gêneros e espécies e até mesmo entre árvores da mesma espécie e dentro do próprio indivíduo são fatores que podem influenciar a densidade. No entanto, a densidade não deve ser considerada isoladamente como um único índice de qualidade da madeira, sendo necessária também à avaliação da composição química e as características anatômicas da madeira (MELO et al., 2013).

Segundo Shimoyama (1990), a densidade está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, sendo um dos parâmetros mais importantes entre as propriedades físicas da madeira, pois tem relação com as demais propriedades. Normalmente, quanto maior a densidade da madeira, maiores serão as propriedades mecânicas. Segundo Sturion et al. (1987), madeiras com alta densidade são adequadas para construção civil. Gonzaga (2006) acrescenta que madeiras densas são adequadas para uso em contato com o solo, como estacas, moirões, dormentes e construção de pontes, por serem mais resistentes ao apodrecimento.

Outra importante propriedade da madeira é a estabilidade dimensional, que, segundo Mori et al. (2003), varia entre espécies e com o modo de secagem, podendo expandir ou contrair de acordo com a umidade relativa. Os mesmos autores ainda ressaltam que, quanto menores as contrações, melhores serão as suas

propriedades. Madeiras com maior estabilidade dimensional são recomendadas para usos em móveis, pisos, forros e lambris (MORRI et al., 2003).

As variações dimensionais estão relacionadas com a espécie vegetal, teor de umidade, direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), posição dentro da árvore, massa específica ou densidade, temperatura e grau de estresse de secagem, causada pelo gradiente de umidade (MELO, 2013). Em função do fenômeno da anisotropia, ocorre o desenvolvimento de defeitos na madeira durante a secagem como colapso, rachaduras e empenamentos (KLITZKE, 2007), havendo a necessidade do emprego de novas técnicas que melhoram o comportamento da madeira quanto a sua estabilidade dimensional.

Segundo Kollmann e Côté Júnior (1968), a contração e o inchamento volumétricos estão relacionados com a densidade da madeira, desta forma quanto maior essa característica, maiores serão a contração e o inchamento volumétricos, o que caracteriza uma relação praticamente linear. Para Klitzke (2007), a mudança de volume verificada na madeira, em consequência da dessorção e adsorção de água, é uma das propriedades físicas mais importantes, podendo afetar e limitar a utilização industrial.

As propriedades mecânicas da madeira são afetadas pelas variações de umidade ocorridas abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF); de modo geral, quando a umidade diminui, a resistência aumenta, e vice e versa (BATISTA, 2010). Por causa do efeito da umidade, e para que os valores sejam comparáveis, as propriedades mecânicas são determinadas em teores constantes, em condição saturada ou a uma determinada umidade de equilíbrio com o ambiente, em geral de 12 a 15% (GONÇALVES et al., 2009).

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, por meio destas é possível estimar a capacidade de um material resistir às forças externas, que tendem a causar deformação. Juntamente com outras propriedades, a resistência mecânica serve de indicador para o uso da madeira que estará submetida a esforços mecânicos, como; estruturas, móveis e pisos (STANGERLIN et al., 2008).

Para a determinação das propriedades mecânicas são realizados ensaios padronizados em amostras sem defeitos. Os principais ensaios são flexão estática (módulos de ruptura e de elasticidade), compressão paralela às fibras, cisalhamento e dureza Janka (GLASS; ZELINKA, 2010). Os módulos de ruptura (MOR) e de

elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, em que o MOE de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, representando a rigidez do material quando submetido a uma carga aplicada (SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004). Ambos os módulos fornecem uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros para a classificação dos materiais (BAL; BEKTAS, 2012).

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por fatores diversos, como; características anatômicas, idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos; densidade, duração da tensão e deformação; falhas na madeira e presença de nós (GATTO et al., 2012). A madeira de lenho juvenil tem resistência mecânica inferior à da adulta, influenciada pelas diferenças anatômicas que irão refletir em menor densidade (BALLARIN; LARA PALMA, 2003).

As propriedades mecânicas podem ser influenciadas pela densidade básica, sua variação pode influenciar diretamente nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004). Existe um alto grau de correlação entre a densidade e as propriedades mecânicas da madeira, assim, quanto maior for a densidade da madeira maior será a resistência mecânica da mesma.

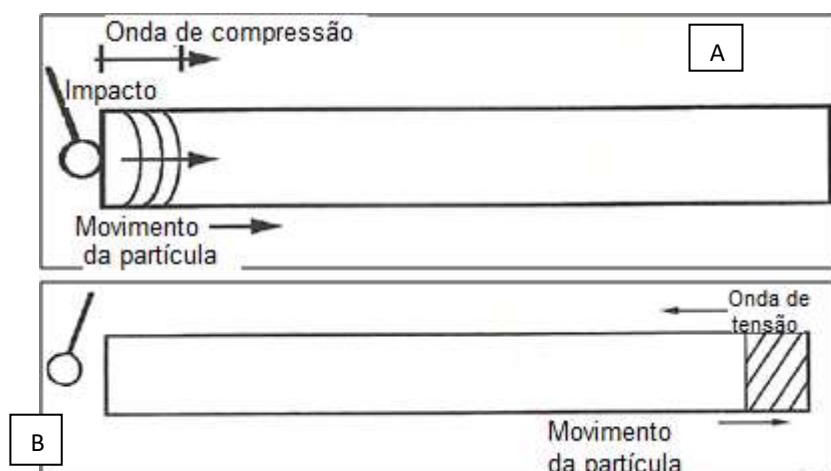
2.6 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

Os métodos não destrutivos mais usuais que visam determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira são o ultra som, radiografia, análise de vibrações e emissão acústica (TARGA et al., 2005). Entre as análises de vibrações encontram-se alguns métodos comumente conhecidos como *stress wave* (ondas de tensão) e *free-free bar* (barra livre-livre).

O método do *Stress Wave* tem início com a aplicação de um impacto no começo de uma viga homogênea simplesmente apoiada. Ele gera uma onda de compressão que, imediatamente, começa a se mover e excita as primeiras partículas que compõem a viga, excitando em seguida as partículas posteriores. A onda se move com velocidade constante ao longo da viga e, depois de percorrer por todo o seu comprimento, ocorre uma colisão da onda com o final livre da peça, refletindo uma

onda de tensão, que volta pelo comprimento da mesma (Figura 2). Embora a velocidade dessa onda não dependa da intensidade do impacto inicial e permaneça constante, a energia vai se dissipando com a passagem da onda pelas partículas (ROOS; PELLERIN, 1994).

Figura 2 – Representação do movimento da onda de tensão em uma viga pela técnica do *Stress Wave*. A) Excitação das partículas pela onda de compressão; B) Colisão da onda no final livre da barra, refletindo a onda de tensão.



Fonte: Adaptado de Ross e Pellerrin (1994).

A técnica do *stress wave* utiliza a baixa tensão molecular para medir duas propriedades básicas no material a ser analisada, a energia armazenada e sua dissipação. A energia armazenada pode ser denominada como a velocidade em que a onda passa pelo material. Já a dissipação é a taxa com que ela perde energia ao passar por esse mesmo material. Esse método pode ser considerado o melhor entre os não destrutivos, pois possui alta relação estatística com o destrutivo, alcançando precisão em torno de 90 a 94% (ROOS; PELLERIN, 1994).

Outro método não destrutivo (ND) conhecido internacionalmente é o *free-free bar* ou barra livre-livre. Esse teste leva em consideração a frequência natural do material em estudo, o seu modo particular de vibrar e a taxa de amortecimento. Segundo Chui (1999) e Carreira et al. (2012), a *free-free bar* é a metodologia mais confiável para a caracterização mecânica de vigas. Ao considerar uma viga simétrica, simplesmente apoiada, com a sua massa e rigidez distribuída uniforme ao longo do seu comprimento e limitar o seu modo de vibrar no espaço, é possível determinar as frequências naturais do sistema de modo simples (SEGUNDINHO, 2010).

Desse modo, Segundinho et al. (2012) relatam que, é necessário classificar peças de madeira para conhecer a sua melhor aplicação estrutural e, esta classificação pode ser realizada pelas propriedades mecânicas do material obtida em função dos métodos de vibrações, assim como ocorre na construção civil. Somado a isto, Carreira e Candian (2008) afirmam que, a frequência natural obtida pelo método de vibração transversal se correlaciona com a rigidez na flexão, sendo possível o cálculo do módulo de elasticidade à flexão estática.

2.7 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

Resistência biológica ou durabilidade natural são termos que se referem ao grau de suscetibilidade da madeira ao ataque de agentes degradadores bióticos, como fungos, insetos e brocas marinhas, ou abióticos, como forças mecânicas naturais (ventos e chuvas) e decomposição física e química (SHMULSKY; JONES, 2011; TOMAZELI et al., 2016). Sendo influenciada, pela interação das propriedades físico-químicas e anatômicas da madeira e condições ambientais (BRISCHKE et al., 2013).

Entende-se por durabilidade natural, a vida média útil em serviço que uma madeira possui, quando exposta a organismos xilófagos e às condições adversas do ambiente (temperatura, umidade, luminosidade e acidez) (PAES et al., 2009; 2010; 2013). Segundo Barreal (1998), o grau de resistência natural da madeira varia significativamente entre espécies florestais e até mesmo dentro do próprio indivíduo, sendo proporcionada pelas substâncias tóxicas ou inibidoras naturais contidas na mesma.

Um dos fatores que limita a utilização da madeira para as diversas finalidades é a sua resistência ao ataque de organismos xilófagos, por ocasionarem maiores danos econômicos, o que é um requisito importante para a utilização correta, principalmente em nível industrial (RICHARDSON, 2009). Madeiras com alta durabilidade natural se destacam por possuírem maior procura no mercado. O que implica na diminuição de produtos para o tratamento; em que essa propriedade é importante, como para a indicação de seu uso na construção civil e indústria moveleira (SILVA et al., 2004).

A degradação biológica da madeira ocorre por causa de alguns organismos utilizarem como fonte de alimento os polímeros naturais da parede celular, e alguns deles são providos de sistemas enzimáticos específicos, que são hábeis em metabolizá-los em unidades assimiláveis. Há diferenças na durabilidade natural entre o cerne e o alburno, em que o cerne é de maior durabilidade pela presença de extrativos e ausência de materiais nutritivos (OLIVEIRA et al., 1986).

O cerne normalmente é a zona de coloração mais escura, resultante de metabólitos secundários (extrativos), localizados na parte central do tronco na maioria das espécies florestais e fisiologicamente formado a partir do alburno, resultado da diminuição da umidade, morte das células do parênquima e principalmente, aumento no teor dos extrativos, que o tornam com maior durabilidade natural aos agentes xilófagos, quando comparado ao alburno (KOCH; SCHMITT, 2013; SILVA et al., 2014; LU et al., 2016). A decomposição natural do cerne é afetada pelas diferentes características dos extrativos, tipo de agente biodeteriorador responsável pelo ataque, e às condições de exposição do material (CLAUSEN, 2010).

Em oposição, o alburno de praticamente todas as espécies de madeira possui alta susceptibilidade à deterioração por organismos xilófagos, independentemente da durabilidade do cerne (RÄBERG et al., 2005). A proporção de cerne e alburno depende da espécie e varia na árvore, em função da idade, local, solo e condições climáticas e, em geral, a madeira mais jovem apresenta maior porcentagem de alburno (PAES et al., 2002; 2007; EVANGELISTA, 2011). Esta baixa resistência do alburno pode ser decorrência de sua maior permeabilidade e à presença de carboidratos armazenados, que são fatores favoráveis ao ataque por agentes xilófagos (KOLLMANN; COTÉ JUNIOR, 1968).

A madeira intermediária é definida como as camadas internas do alburno que representam a transição entre cerne e alburno com cor e características gerais, e possui umidade inferior ao alburno e semelhante ao cerne (HILLIS, 1987). Estas diferenças na durabilidade natural em uma peça de madeira estão associadas com modificações químicas e fisiológicas resultantes da formação do cerne, com o surgimento de substâncias tóxicas que conferem durabilidade a certas madeiras, além de modificar sua coloração (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; MOYA et al., 2014).

Segundo Lepage et al. (1986) e Zabel e Morrell (1992) a resistência à biodeterioração aumenta do câmbio para a região de transição entre cerne e alburno e diminui próxima à medula. Este declínio é resultante provavelmente do reflexo de

desintoxicação biológica ou oxidação natural de extrativos presentes no cerne, com a polimerização contínua destes compostos secundários que produzem substâncias menos tóxicas. Assim, a atividade microbiana pode reduzir a durabilidade do cerne ao longo dos anos. A durabilidade também varia com a altura do tronco da árvore, com a madeira mais durável próximo à base da árvore.

Conforme Pala (2007) e Reinprecht (2016) apesar da madeira ser uma das principais fontes de alimento para diversos agentes xilófagos, a intensidade do ataque está relacionada com a composição química e morfológica do material e que, a presença de concentrações mais elevadas de extrativos proporciona maior durabilidade natural da madeira estando relacionada, principalmente, à presença de extrativos tóxicos. Estes componentes secundários podem ser tóxicos para os microrganismos, por serem inibidores do processo de biodeterioração, podendo exercer um efeito antioxidante e, ou, reduzir a permeabilidade da madeira à água, ao ar ou às hifas dos fungos (MOORE et al., 2015, BRISCHKE et al., 2013).

Os extrativos tóxicos estão particularmente localizados no cerne, proveniente do alburno, quando este cessa suas atividades fisiológicas (KLOCK; ANDRADE, 2013). Os extrativos que conferem a durabilidade natural de muitas espécies florestais são formados de amido e carboidratos solúveis, que penetram nas paredes celulares e passam por transformações químicas (SCHMIDT, 2006).

Segundo Rowell et al. (2005), os extrativos estão presentes na madeira como monômeros, dímeros e polímeros, em que alguns são responsáveis também pela cor, cheiro, e outras propriedades organolépticas da madeira. Estes são classificados em compostos alifáticos (principalmente gorduras e cera), terpenos, terpenóides e compostos fenólicos, que produzem uma inibição química contra o avanço do ataque de agentes xilófagos.

Os radicais livres, dos fenóis oxidados, podem funcionar como inibidores não específicos que afetam indiscriminadamente muitas enzimas de origem fúngicas (BLANCHETTE; BIGGS, 1992). As principais classes de extrativos que contribuem para a durabilidade da madeira ao ataque de agentes xilófagos são principalmente os compostos fenólicos, dentre estes os polifenóis, terpenóides, tropolonas e taninos (ALMEIDA et al. 2012; MORRELL, 2012; LU et al. 2016).

O conhecimento da durabilidade natural da madeira é importante, pois por meio deste é possível recomendar e realizar o emprego adequado para os diversos segmentos madeireiros, como orientação quanto a sua utilização, principalmente na

construção civil, e outros usos como móveis, pisos e forro. Evitando-se assim, gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas, o que reduz os impactos sobre as florestas remanescentes (PAES et al., 2009; RODRIGUES, 2010).

Em uma peça de madeira há variação na resistência natural proveniente da porção interna do cerne, formada durante o período juvenil da árvore, sendo menos resistente à biodeterioração que a proveniente do cerne externo, região fronteira com o alburno, formada na fase adulta. Porém, nem todas as espécies possuem este padrão de variação, e em algumas, a região próxima à medula é tão resistente quanto à externa do cerne, enquanto a madeira de alburno é suscetível à biodeterioração (PAES et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL

Foi estudada a madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus*, seus progenitores foram as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* (com variação da porcentagem de cada um deles) e *Eucalyptus camaldulensis*. Durante a pesquisa, os clones foram denominados genericamente como A, B, C, D, E e F, Tabela 1. O plantio está localizado em uma área experimental do Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda, no município de Venda Nova do Imigrante, Microrregião Sudoeste Serrana do estado do Espírito Santo (latitude 20°23'37.1"S, longitude 41°08'29.6"W e altitude de 730 m).

Tabela 1 – Progenitores dos seis clones de híbridos de *Eucalyptus* avaliados para o processamento mecânico.

Denominação genérica	Progenitores
A	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>
B	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>
C	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>
D	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus camaldulensis</i>
E	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>
F	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>

Fonte: O autor.

Segundo informações do Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural - Proater (2011), o município encontra-se no Bioma Mata Atlântica, predominância de relevo do tipo montanhoso e escarpado, clima mesotérmico de inverno seco com temperatura média em torno de 18,5 °C, sendo a média das máximas em torno de 24,5 °C e das mínimas de 12,3 °C, com duas estações definidas: sendo de maio a setembro (clima frio e seco) e de outubro a abril (clima ligeiramente quente e mais úmido). A umidade relativa média é em torno de 85% e a precipitação média anual nos últimos 10 anos foi de 1.460 mm (PEDREIRA, et al., 2012).

Os clones foram implantados pela empresa com o objetivo de se produzir madeira serrada, em janeiro de 2002, em espaçamento de 5,0 x 4,0 m, em solo argiloarenoso. As covas de plantio foram de 40 x 40 x 40 cm, com aplicação de 400

g de NPK 00-24-00 e micronutrientes por cova; após sessenta dias do plantio foi realizada uma adubação de cobertura com 50 g de NPK 16-0016 e micronutrientes e; após oito meses do plantio, foi realizada a última adubação de cobertura, com 100 g da mesma formulação. As podas foram realizadas aos dois e três anos de idade, respectivamente nas alturas de quatro e sete metros; aos nove anos de idade foi aplicado um desbaste, tendo sido retiradas 40% das árvores.

Foram coletadas três árvores por clone, com boa forma de fuste, dentre aquelas com diâmetro a altura do peito - DAP (com casca), entre 31 e 35 cm, a fim de obter padronização entre os materiais a serem pesquisados. As árvores foram seccionadas em toras de 4.200 cm de comprimento e retiraram discos de 5,0 cm de espessura (um na base da árvore e entre as toras) até a altura comercial, correspondente à inserção dos primeiros galhos. A quantidade de toras por árvore variou entre cinco e nove, de acordo com a altura comercial.

Da primeira e segunda tora de cada árvore, foram obtidos pranchões centrais, os quais foram transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (DCFM/UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES. Do pranchão proveniente da primeira tora foram retiradas amostras para avaliação das propriedades físicas, mecânicas, químicas e realização de ensaios biológicos com fungos e térmitas. O pranchão da segunda tora foi armazenado para realização de pesquisas posteriores.

3.2 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS

Foram avaliadas as seguintes características dendrométricas das árvores dos clones: alturas total e comercial, volume das toras (com e sem casca), porcentagem de casca e conicidade. Inicialmente, as árvores tiveram o DAP medido com fita diamétrica. Após a derrubada, foram medidas com trena as alturas total e comercial das árvores e, foram seccionadas as toras e os discos.

A espessura média da casca foi medida nos discos, em que para cada um deles foram tomadas quatro amostras, uma em cada quadrante do diâmetro, com uso de um paquímetro digital (0,01 mm). Foram calculados os volumes com e sem casca por meio da equação de Smalian e, com esses dados também foi calculada a porcentagem de casca.

3.3 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

A conicidade foi calculada com os diâmetros com casca das extremidades de cada tora, medidos com suta. A determinação da relação cerne:alburno (C:A), de cada árvore foi realizada nos discos conforme a metodologia descrita por Evangelista (2007). Em cada disco foi identificada visualmente a região limite entre cerne e alburno, com uso de uma lupa com aumento de 10 vezes. Foram traçadas duas retas perpendiculares, passando pela medula, de aresta igual ao diâmetro, que foram medidas, bem como a região limite, com uma régua de aço (1mm). A relação C:A foi calculada com a Equação 1.

$$C : A = \frac{D_c^2}{D^2 - D_c^2} \quad (1)$$

Em que – C:A: relação cerne:alburno; D_c : diâmetro do cerne (cm); e D : diâmetro sem casca do disco (cm).

A excentricidade da medula foi ajustada pela Equação 2. Obtiveram os raios de cada disco, pela utilização de duas marcações ao longo da extensão diametral, incidindo pela medula.

$$EXM = \left(\frac{L_m}{d_m} \right) 100 \quad (2)$$

Em que – EXM: excentricidade da medula (%); L_m : distância entre o centro geométrico e a medula (cm); d_m : diâmetro médio do disco (cm).

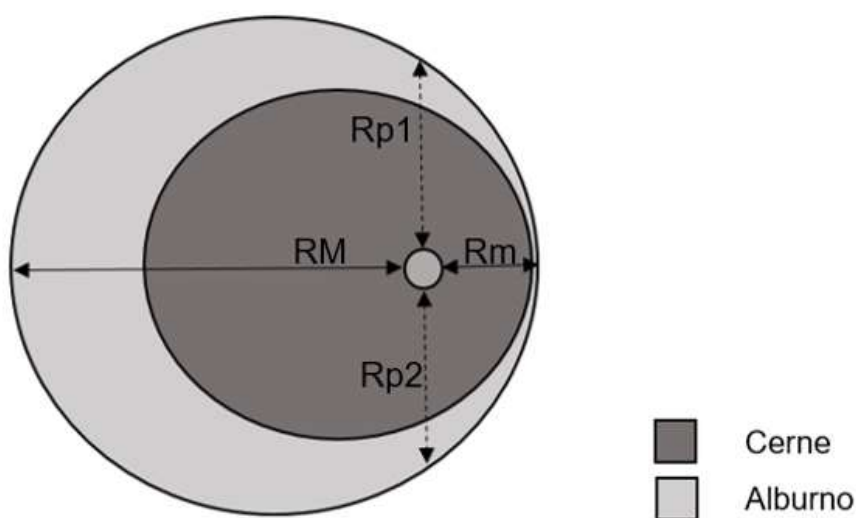
O deslocamento da medula (DM) foi calculado ao utilizar o método descrito por Lima (2007), por meio das Equações 3 e 4, em que foi empregado o procedimento esquematizado na Figura 3, para a obtenção das variáveis, que foram medidas com uma régua de aço (1mm). O DM de cada tora correspondeu à média dos DMs calculados nos discos dos extremos da tora.

$$R_m = \left(\frac{R_M + R_m + R_{P1} + R_{P2}}{4} \right) \quad (3)$$

$$DM = R_M - R_m \quad (4)$$

Em que – R_m : média da distância entre a medula e a periferia da tora (cm); R_M : maior distância entre a medula e a periferia da tora (cm); R_m : menor distância entre a medula e a periferia da tora (cm); R_{P1} : raio perpendicular 1 (cm); R_{P2} : raio perpendicular 2 (cm); DM: deslocamento da medula (cm).

Figura 3 – Representação da seção transversal de uma tora, com as variáveis utilizadas para o cálculo do deslocamento da medula.



Fonte: Lima (2007).

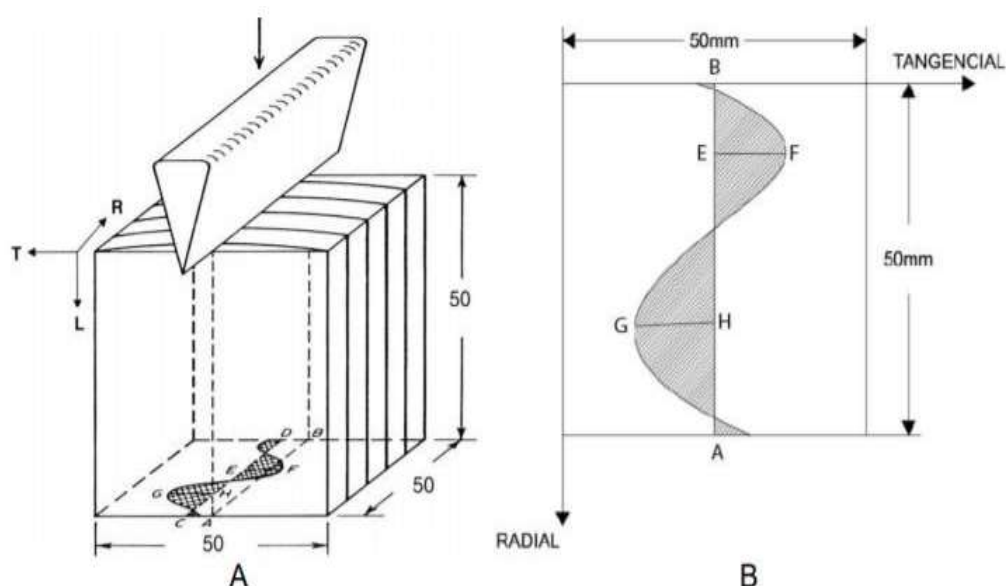
Para a avaliação do desvio da grã foi utilizada como medida o máximo desvio angular (MAD), conforme o método da divisão radial com posterior análise de imagem (WEBB, 1969). Foram utilizados dois corpos de prova de 5,0 x 5,0 x 5,0 cm por discos, tomados ao longo do tronco de cada árvore, que foram divididos ao meio, com o uso de um formão, conforme Figura 4. As faces fendilhadas foram digitalizadas em *scanner* e processadas com o *software Image-Pro Plus*, para se determinar as medidas utilizadas para calcular o MAD.

O MAD foi obtido pela soma do ângulo máximo formado no desvio da grã para o lado esquerdo (ângulo formado pelo segmento de reta EF e a altura da amostra) com o ângulo máximo formado no desvio da grã para o lado direito (ângulo formado pelo segmento de reta GH e a altura da amostra), conforme a Equação 5.

$$MAD = \tan^{-1}\left(\frac{EF}{L}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{GH}{L}\right) \quad (5)$$

Em que – MAD: máximo desvio angular (°); EF: raio do desvio formado pela grã para o lado esquerdo (cm); GH: raio do desvio formado pela grã para o lado direito (cm); L: altura da amostra (cm).

Figura 4 – Direção do fendilhamento dos corpos de prova (A) e pontos de mensuração da grã inter cruzada (B).



Fonte: Adaptado de Hernandez e Almeida (2003).

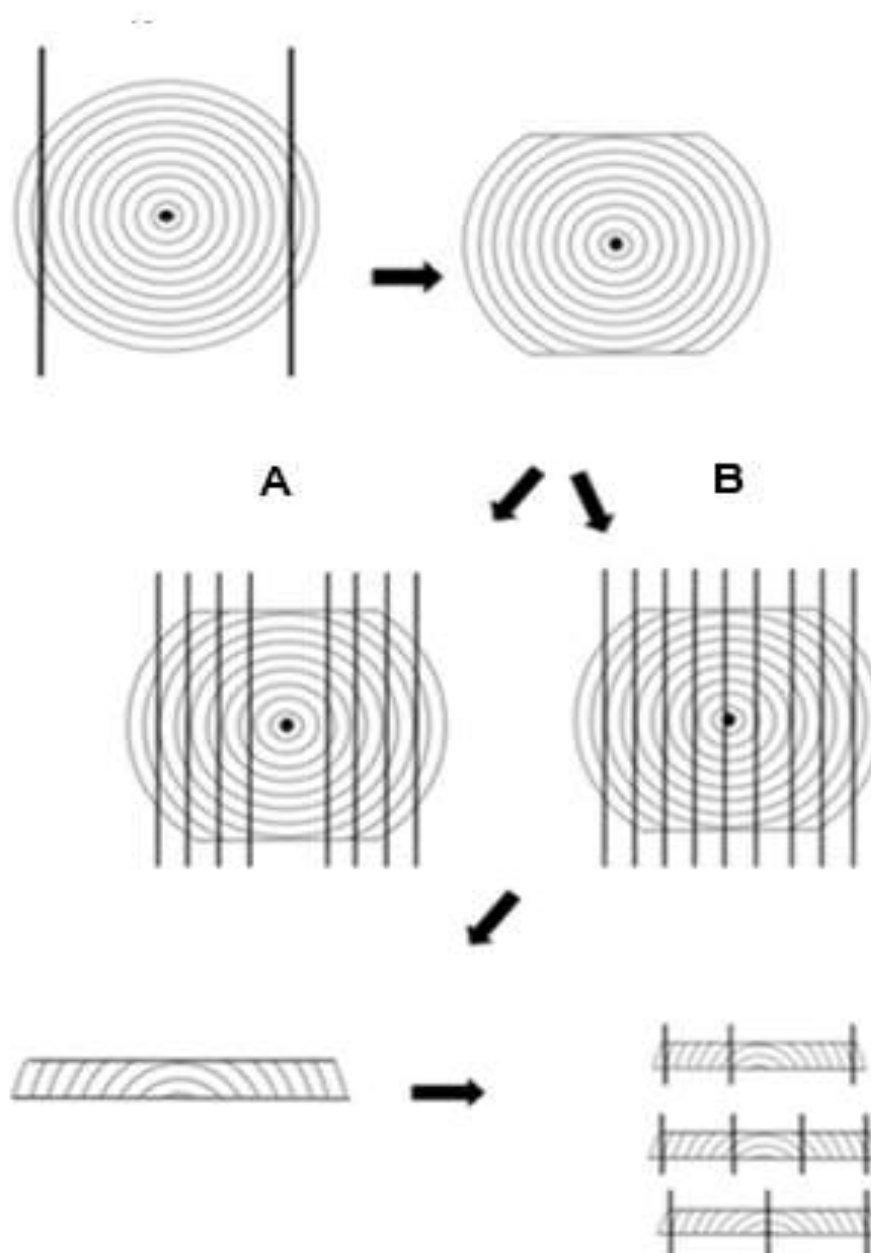
3.4 ÍNDICE DE RACHADURAS DE TOPO DE TORAS – IRTT E DESDOBRO

Foram medidas as rachaduras dos topos das três primeiras toras de cada árvore com paquímetro digital (0,01 mm), para o cálculo do índice de rachaduras de topo de toras – IRTT (LIMA; GARCIA; PIEDADE, 2002). Para tanto, foi utilizado o método proposto por Schaitza, Mattos e Pereira (2003).

Em seguida, as toras foram transportadas para o pátio da serraria do Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda, onde a primeira, segunda e quarta toras foram desdobradas conforme o modelo de corte da Figura 5. A terceira tora permaneceu no pátio e foi utilizada para outra pesquisa.

Para o desdobro das toras, foi utilizado o seguinte maquinário: serra de fita vertical simples (desdobro primário), serra de fita horizontal com três cabeçotes (resserragem) e serra circular múltipla refiladeira (refilagem), produzindo-se serrados de 30 x 70 x 4.200 mm (espessura x largura x comprimento) e tábuas de 30 x 140 x 4.200 mm (espessura x largura x comprimento). Para a primeira e segunda toras, foi produzido um pranchão diametral (não refilado) de 80 a 100 mm de espessura que foram utilizados em ensaios posteriores.

Figura 5 – Representação do modelo de corte utilizado para o desdobro das toras.



Em que – A: desdobro da primeira e segunda toras; B: desdobro da quarta tora.

Fonte: O autor.

3.5 PILHA DE SECAGEM E AVALIAÇÃO DE DEFEITOS DE TÁBUAS

Após o desdobro, foram selecionadas 176 tábuas, com a quantidade variável por clone (conforme o rendimento), para a avaliação dos seguintes defeitos na condição saturada: rachaduras de topo e empenamentos (encurvamento, arqueamento e encanoamento), todos conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 9487, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986).

Em seguida, foi montada uma pilha de secagem natural (Figura 6), do tipo caixa com dimensões de 1,40 x 1,50 x 4,20m (altura x largura x comprimento), com restrição na camada superior produzida por uma pilha de madeira de *Pinus elliottii* seca. A pilha foi composta pela madeira das três toras desdobradas (exceto as peças centrais das duas primeiras), inclusive com os serrados, peças de 30 x 70 x 4.200 mm, descritas anteriormente, e montada no próprio galpão da serraria, sobre seis pontaletes de 15 x 20 x 150 cm (largura x altura x comprimento). Os tabiques utilizados entre as camadas de madeira foram distanciados 60 cm entre si ao longo do comprimento da pilha, alinhados verticalmente com os pontaletes.

Figura 6 – Pilha de secagem tipo caixa com restrição na camada superior.



Fonte: O autor.

A umidade da madeira não foi medida no primeiro dia de montagem da pilha, pois a madeira estava na condição saturada, mas após 210 dias de secagem natural, correspondentes aos meses de dezembro de 2015 a julho de 2016. Nesse momento, a umidade das amostras foram medidas com um medidor elétrico de umidade, tipo resistivo, da marca Gann, modelo Hydromette HT 65.

Encerrado o período da secagem natural, a pilha foi desmontada, as peças que compunham a mesma tiveram a umidade medida na parte de cima das peças, sendo realizadas três medições ao longo do comprimento de cada tábua. Os defeitos da secagem foram avaliados conforme descrito anteriormente para a condição saturada.

3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

A densidade básica das árvores foi obtida conforme o método proposto por Vital (1984), ao serem utilizadas duas cunhas diametralmente opostas por disco. Os corpos de prova para os ensaios de densidade e estabilidade dimensional da madeira, foram devidamente orientados, amostrados de três posições radiais: cerne interno, cerne externo e região de transição entre cerne e alburno. Para realização destes, empregaram-se os procedimentos da NBR 7190, ABNT (1997), ao serem utilizados os mesmos corpos de prova para ambos os ensaios. Foram produzidos 30 corpos de prova para cada clone, com 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal). Saturados em água e, ao final, foram pesados em balança semianalítica (0,01 g) e medidos com paquímetro (0,01 mm) nas três direções estruturais.

Em seguida as amostras foram secas em estufa, seguindo a programação de temperatura de 40, 60, 80 e 103 ± 2 °C, cada uma com 24 horas de duração: Após a última etapa, foram medidas a massa e as dimensões dos corpos de prova, de igual modo à condição saturada. Foi calculada a contração total radial, tangencial e volumétrica. O coeficiente de anisotropia de contração foi obtido pela razão entre a contração tangencial e a radial.

3.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

3.7.1 Ensaios destrutivos

Os ensaios mecânicos destrutivos foram realizados em máquina universal de ensaios de 10 toneladas de capacidade de carga, acoplada a um microcomputador, dotado de um *software* específico para aquisição dos dados de cada corpo de prova, ao seguirem os procedimentos discriminados na NBR 7190, (ABNT, 1997). As amostras utilizadas nos ensaios mecânicos permaneceram em sala climatizada, e atingiram umidade média de aproximadamente 11%.

Para os ensaios mecânicos de flexão estática e de compressão paralela às fibras foram utilizadas amostras provenientes do cerne interno e externo. Em decorrência das dimensões das madeiras e da capacidade da máquina de ensaio, utilizaram-se amostras com dimensões reduzidas. Para a flexão foram utilizados 21 corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 57,5 cm (tangencial x radial x longitudinal) para cada clone, sendo sete amostras por árvore a fim de se obter os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) dos materiais.

Para a determinação da resistência à compressão paralela às fibras foram produzidos 21 corpos de prova com dimensões reduzidas para 2,5 x 2,5 x 10 cm (tangencial x radial x longitudinal) para cada clone, sendo sete amostras por árvore.

Por causa do diâmetro das toras e das dimensões dos corpos de prova, para os ensaios de dureza Janka e de cisalhamento não foi possível separar os tecidos classificados como cerne interno e externo, assim os corpos de prova continham tecido das duas regiões.

A dureza Janka foi determinada nas seis faces dos corpos de prova, (10 amostras por árvore totalizando 30 repetições por clone) produzidos com dimensões de 5,0 x 5,0 x 15,0 cm (tangencial x radial x longitudinal), com duas impressões para cada plano de corte. A média das mesmas representou a dureza por face de cada amostra.

Para o cisalhamento foram produzidas 10 amostras por árvore totalizando 30 repetições por clone com as dimensões 5,0 x 5,0 x 6,3 cm (tangencial x radial x longitudinal). As amostras foram ensaiadas até a ruptura das mesmas.

A flexão estática e a resistência à compressão paralela às fibras foram realizadas em duas posições na madeira (cerne interno/intermediário e externo) e a dureza e o cisalhamento, em função das dimensões das amostras, foi avaliada apenas em uma posição, composta de madeiras provenientes do cerne interno, intermediário e externo.

3.7.2 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos foram realizados com as mesmas amostras destinadas ao ensaio de flexão estática, sendo duas posições na madeira (cerne interno/intermediário e externo). Foram utilizados 42 corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 57,5 cm (tangencial x radial x longitudinal) para cada clone, sendo sete amostras por árvore e posição.

O método de vibração longitudinal (Vib. long.) consistiu em sustentar os corpos de prova sobre fios de elastômero, ligados a duas hastes de madeira. Com o uso de um microfone, foram captadas as vibrações dos impactos gerados pela batida de um martelo adequado para este ensaio, que deve possuir massa menor às da amostra. A batida foi realizada na direção paralela às fibras da madeira e o microfone posicionado também nesta direção, mas na outra extremidade da amostra.

As vibrações foram transformadas em frequências pelo programa *Fast Fourier Vibration Analyzer* – FFT Analyzer. O módulo de elasticidade dinâmico longitudinal foi realizado de acordo com as designações E-1876 da *American Society for Testing and Materials* - ASTM (2007) e C-215 da ASTM (2008); obtido pela Equação 6.

$$Ed_{Long} = 4 \cdot \left(\frac{m \cdot f_1^2}{b} \right) \cdot \frac{L}{h} \quad (6)$$

Em que – Ed_{Long} : Módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vib. long. (MPa); m: massa da amostra (kg); f_1 : frequência de vibração longitudinal (Hz); b: largura da amostra (mm); h: altura da amostra (mm); e L: comprimento da amostra (mm).

Semelhante ao método de Vib. long., o de vibração transversal (Vib. trans.) também consiste em suspender os corpos de provas sobre fios de elastômero. A diferença entre os métodos está na batida, que neste caso, foi realizada na direção

perpendicular às fibras da madeira e o microfone posicionado também nesta direção, na outra extremidade do corpo de prova e na direção oposta à batida. Essas vibrações também foram transformadas em frequências pelo programa FFT Analyzer. O módulo de elasticidade dinâmico transversal foi realizado de acordo com as designações E1876 da ASTM (2007) e C215 da ASTM (2008), Equação 7.

$$E_{d_{Trans}} = \frac{f_r^2 \cdot W \cdot L^3}{2,46 \cdot I \cdot g} \quad (7)$$

Em que – $E_{d_{Trans}}$: módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vib. trans. (MPa); f_r : frequência de vibração transversal; W: Peso da amostra (N); L: distância entre apoios (m); I: momento de inércia (mm^4); e g: aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

Para aplicação do método de *Stress wave* (SW), foram utilizados os equipamentos conhecidos como *Fakopp Microsecond Timer*, serial FN – 11/2017, e *Stress Wave Timer*, modelo 239A, estes fornecem o tempo que a onda de tensão gasta para percorrer o comprimento da amostra. A partir desse tempo, foi calculado o módulo de elasticidade dinâmico (E_{sw}) por meio da Equação 8.

$$E_{sw} = \left(\frac{L}{t}\right)^2 \cdot \frac{D}{g} \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

Em que – E_{sw} Módulo de elasticidade dinâmico pelo Stress Wave (MPa); L: comprimento da amostra (m); t: tempo de propagação da onda (s); D: densidade da amostra (kg.m^{-3}); e g: aceleração da gravidade (m.s^{-2}).

3.8 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

As amostras preparadas, porém não selecionadas para os ensaios biológicos (item 3.9) foram transformadas em palitos e posteriormente em serragem em moinho do tipo Willey, para a realização da análise química da madeira. A serragem utilizada foi a que passou pela peneira de 40 *mesh* e ficou retida na de 60 *mesh* e condicionada a uma umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. A determinação da massa absolutamente seca das amostras foi realizada de acordo com o método teste T264 om da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* - TAPPI (1996).

O teor de extrativos (etanol: tolueno) da madeira foi determinado segundo a designação D-1105 da ASTM (2013). O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1983). Do filtrado restante da análise da lignina insolúvel foi realizada a leitura em espectrofotômetro, para determinação da porção solúvel em ácido, conforme Goldschimid (1971). O teor de holocelulose foi obtido por diferença a partir da expressão: Holocelulose (%) = {100 - [extrativos (%) + lignina (%) + cinzas (%)]}. A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo a designação D-1102 (ASTM 2013).

3.9 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM AGENTES XILÓFAGOS

Para os ensaios em laboratório de resistência biológica da madeira ao apodrecimento acelerado, foram utilizadas quatro repetições e quatro fungos, com 144 repetições para cada clone, totalizando 864 amostras. Nos ensaios com térmitas subterrâneas (alimentação forçada e preferência alimentar) e de madeira seca foi utilizado o mesmo número de repetições empregado para cada fungo, sendo 36 amostras por clone, totalizando 216 amostras para cada ensaio.

Para os ensaios de resistência biológica a fungos e térmitas xilófagos, as amostras foram lixadas para eliminar defeitos e secas em estufa à temperatura de 103 ± 2 °C, até atingirem massa constante, pesadas em balanças de 0,01g de precisão e destinadas à montagem dos ensaios. Após dos ensaios biológicos, foram realizadas relações entre a resistência natural e as características físico químicas para cada posição avaliada.

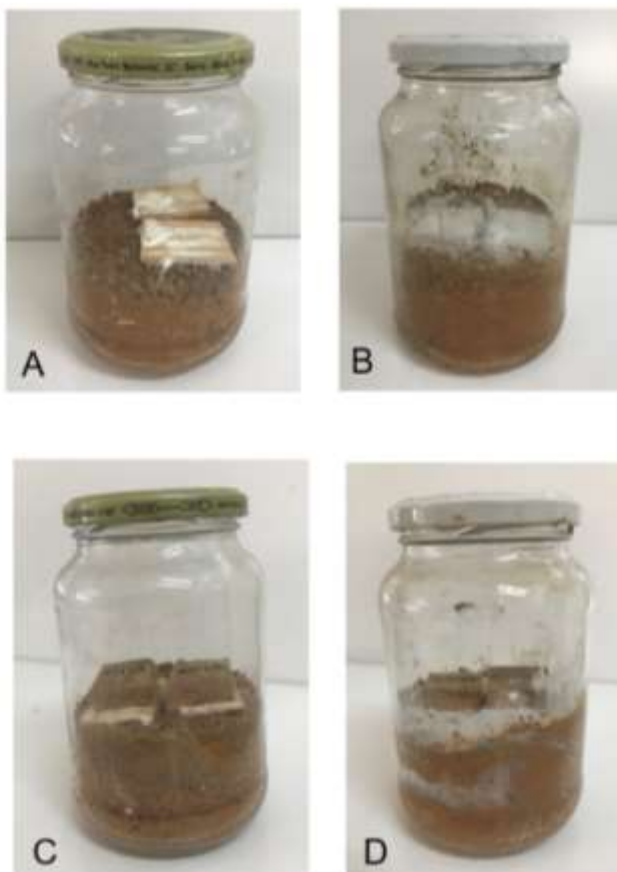
3.9.1 Ensaio com fungos apodrecedores

Foram utilizados fungos que causam a podridão parda [*Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill, *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard e *Neolentinus lepdeus* (Fr.) Redhead & Ginns] e branca [*Trametes versicolor* (L.) Lloyd]. No preparo do meio de cultura e no ensaio com os fungos foram seguidas a designação D-1413 da ASTM (2008).

O ensaio foi realizado em frascos de 500 mL, preenchidos com 300 g de solo de pH 7,62 e capacidade de retenção de água de 46,71%, conforme D-1413 da ASTM (2008). O solo foi umedecido para 130% da capacidade de retenção, pela adição de 47 mL de água destilada e posteriormente adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus elliottii*, e o conjunto (frascos e alimentadores) esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 minutos.

Após o processo de esterilização, fragmentos de $\pm 1 \text{ cm}^2$ oriundos de culturas puras dos fungos foram adicionados sobre as placas alimentadoras. Após o desenvolvimento dos fungos nos frascos foram inseridas duas amostras teste por frasco (Figura 7). Todas as operações de manipulação de fungos (inoculação, introdução de corpos de prova nos frascos de ensaio) foram realizadas em condições assépticas em câmara de fluxo laminar.

Figura 7 – Frascos com fungos inoculados e colonizados nas placas de alimentação e solo. (A: *Trametes versicolor*, B: *Postia placenta*). Frascos com as amostras testes em contato com os fungos (C: *Trametes versicolor*, D: *Postia placenta*).



Fonte: O autor.

O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e 65 ± 5 % de umidade relativa) por 12 semanas. Após o término do ensaio, as amostras foram limpas com uma escova de cerdas macias para retirar os micélios dos fungos e inseridas em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massa constante. Para a classificação da resistência da madeira, resultante da ação fúngica, foi seguida a designação D - 2017 da ASTM (2008) (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos.

Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)	Classe de Resistência
0 - 10	90 - 100	Altamente Resistente
11 - 24	76 - 89	Resistente
25 - 44	56 - 75	Moderadamente Resistente
≥ 45	≤ 55	Não Resistente

Fonte: Adaptado da D – 2017, ASTM (2008).

3.9.2 Ensaios com térmitas subterrâneas

As colônias utilizadas nos ensaios foram coletadas nas proximidades do município de Jerônimo Monteiro, ES. Para o ensaio de alimentação forçada e preferência alimentar foi utilizada a espécie *Nasutitermes corniger* (Motsch.). Para o ensaio de alimentação forçada foi seguida a designação D - 3345 da ASTM (2008), com algumas modificações sugeridas por Paes et al. (2013).

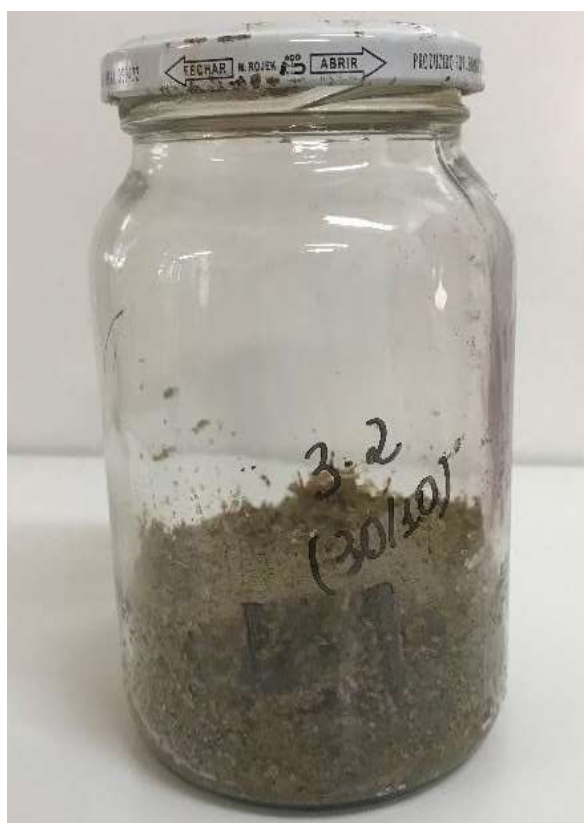
Neste ensaio, foram adicionados em cada frasco (600 mL) um corpo de prova e $1 \pm 0,05$ g de cupim (Figura 8), o que correspondeu a ± 360 indivíduos, na proporção de $\pm 90\%$ de operários e $\pm 10\%$ de soldados (proporção existente na colônia). O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) durante 28 dias, quando foi avaliada a durabilidade natural das madeiras em função da perda de massa (%), desgaste (nota) dos corpos de prova e mortalidade das térmitas (%) (Tabela 3).

Tabela 3 – Avaliação do desgaste nos corpos de prova e da mortalidade das térmitas.

Tipo de Desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	(%)
Baixa	0 - 33
Moderada	34 - 66
Alta	67 - 99
Total	100

Fonte: Adaptado da D - 3345, ASTM (2008).

Figura 8 – Disposição do corpo de prova em ensaio biológico de alimentação forçada com térmita subterrânea.



Fonte: O autor.

Para o ensaio de preferência alimentar as amostras foram fixadas em uma camada de areia úmida (± 10 cm de altura) disposta em uma caixa de cimento amianto de 250 litros de capacidade, que ficou apoiada sobre quatro blocos cerâmicos

colocado em bandejas de plástico de 26 x 35 x 4,5 cm (largura x comprimento x altura) contendo óleo vegetal, para evitar a fuga das térmitas, conforme metodologia descrita por Paes et al. (2007; 2010).

Na caixa, as amostras tiveram a metade do seu comprimento soterrado na areia, e distribuídas em delineamento em bloco casualizado, com arranjo fatorial, com quatro blocos (repetições), três posições no sentido medula-casca e seis tratamentos (clones), mantendo um espaçamento de 3,0 cm (entre blocos) e 2,0 cm (entre amostras) (Figura 9).

Figura 9 – Disposição dos corpos de prova em ensaio biológico de preferência alimentar.



Fonte: O autor.

A colônia foi disposta sobre uma grelha de 30 x 40 cm, sustentada por quatro pedaços de tijolos cerâmicos apoiados sobre a camada de areia presente na caixa (Figura 10).

Figura 10 – Disposição da colônia de térmitas em ensaio biológico de preferência alimentar.



Fonte: O autor.

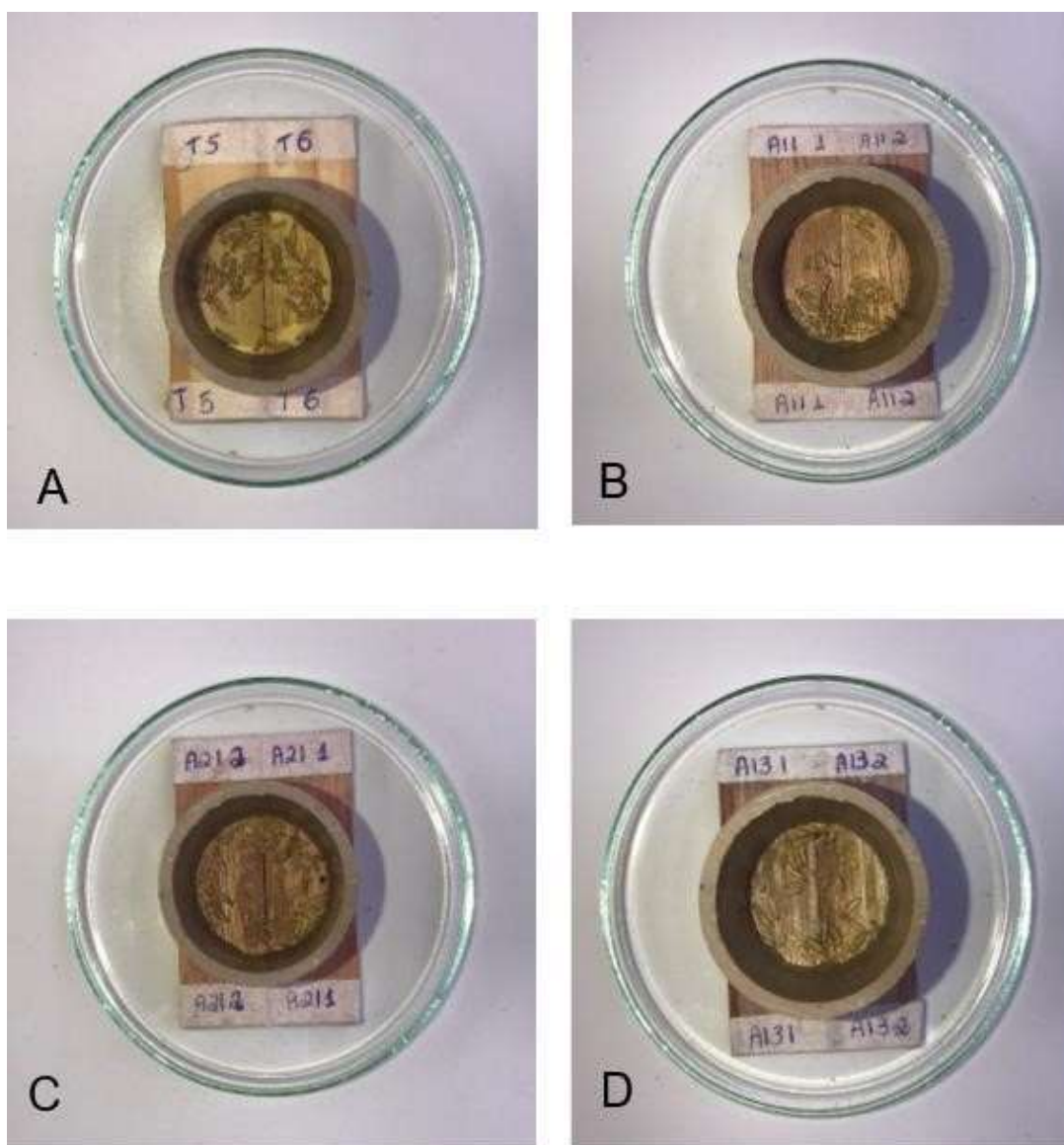
As amostras ficaram expostas à ação das térmitas durante 45 dias, em uma sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). Após o término do ensaio, elas foram limpas com uma escova de cerdas macias para retirar o excesso de areia e excrementos, secas em estufa a 103 ± 2 °C, até massa constante, e determinaram-se a perda de massa (%) e o desgaste (nota). Estas notas foram atribuídas por cinco avaliadores, de maneira individual, em função da atividade biológica ocorrida nas amostras, sendo avaliadas segundo a designação D-3345, ASTM (2008), conforme Tabela 3.

3.9.3 Ensaio com térmitas de madeira seca

Para as térmitas de madeira seca, empregou-se o procedimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Divisão de Madeiras - IPT/DIMAD D-2 (1980), ao serem avaliadas, além das avaliações citadas para a térmita subterrâneas, a quantidade de orifícios produzidos pelos insetos nas amostras. Segundo esta metodologia, corpos de prova com dimensões de $2,3 \times 0,6 \times 7,0$ cm (radial x tangencial x longitudinal) foram submetidos ao cupim *Cryptotermes brevis* (Walker).

Foi utilizada uma dupla de amostras para cada posição, totalizando quatro repetições por árvore, sendo 12 por clone. A dupla foi unida com fita adesiva tipo crepe e um recipiente de policloreto de polivinila (PVC), com diâmetro de 3,5 cm e altura de 4,0 cm, foi fixado com parafina sobre a mesma. Dentro desses foram inseridos 40 térmitas, sendo 39 operários e um soldado. Cada dupla de amostras foi disposta em uma placa de Petri para evitar a fuga das térmitas. O ensaio foi mantido em sala climatizada (27 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), durante 45 dias (Figura 11).

Figura 11 – Ensaio de durabilidade com térmita de madeira seca em diferentes amostras (A - testemunha; B - cerne interno; C - cerne externo; D - alburno).



Fonte: O autor.

Ao término do ensaio, as térmitas que sobreviveram foram retiradas e contadas para avaliação da porcentagem de mortalidade, com posterior avaliação do desgaste por meio de notas que variam de zero a quatro; 0 (nenhum desgaste), 1 (desgaste superficial), 2 (desgaste moderado), 3 (desgaste acentuado), 4 (desgaste profundo), conforme IPT/DIMAD D-2 (1980).

Os ensaios biológicos e de composição química das madeiras foram realizados nos Laboratórios de Biodeterioração e Proteção da Madeira e no de Química da Madeira, respectivamente, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, localizado em Jerônimo Monteiro - ES.

3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As características dendométricas foram avaliadas tendo o número de árvores (três) como repetição, em que a quantidade de discos e toras por árvore foi variável conforme a altura comercial. As análises estatísticas foram realizadas em delineamento inteiramente casualizado. O efeito dos tratamentos (clones) foi verificado pela aplicação da análise de variância e teste F ($p < 0,05$) e, quando significativo, aplicou-se o teste de Scott Knott ($p < 0,05$), para discriminação das médias.

Os resultados de IRTT, defeitos da madeira serrada, antes e depois da secagem natural foram apresentados pela estatística descritiva (média, coeficiente de variação e amplitude) e comparados na forma de histogramas de frequência.

As propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas, tendo o número de amostras, retirados das três árvores, como repetição. Para as características físicas (densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia de contração), foram avaliadas 30 amostras para cada posição avaliada (cerne interno, intermediário e região de transição composta por cerne e alburno), sendo 10 de cada árvore e posição.

Para as propriedades mecânicas (flexão estática e resistência à compressão paralela) foram utilizadas 21 amostras para cada posição avaliada (cerne interno/intermediário e externo), sete de cada árvore e posição. Para a dureza Janka e cisalhamento foram avaliadas 30 amostras, sendo 10 para cada árvore, retiradas

em uma única posição, composta de madeiras provenientes do cerne interno, intermediário e externo. As análises estatísticas foram realizadas em delineamento inteiramente casualizado com ou sem arranjo fatorial. O efeito dos tratamentos (clones) e posições de amostragem (quando avaliado) foi verificado pela aplicação da análise de variância e teste F ($p < 0,05$) e, quando significativo, aplicou-se o teste de Scott Knott ($p < 0,05$), para discriminação das médias. Para comparar os métodos não destrutivos (ND) e destrutivo, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson e gerados gráficos em que foram avaliados os coeficientes de determinação das equações.

As características químicas da madeira foram avaliadas com base na média aritmética. Para a avaliação da resistência natural das madeiras em laboratório com fungos apodrecedores e o ensaio com térmitas de alimentação forçada foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial em que foram analisados os seguintes fatores: espécies de madeiras, três posições no sentido medula casca, e a interação entre os fatores. No ensaio de preferência alimentar a térmitas foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial, em que foram avaliados os mesmos fatores anteriormente citados.

Quando necessário, para possibilitar a análise estatística, os dados de perda de massa e mortalidade das térmitas foram transformados em $\arcsen\sqrt{\text{Variável}/100}$ e os de desgaste, tempo em dias para a morte das térmitas e número de orifícios foram transformados em $\sqrt{\text{Variável} + 0,5}$. Estas transformações, sugeridas por Steel e Torrie (1980), devem ser empregadas no caso da necessidade de normalizar a distribuição dos dados (teste de Lilliefors) e homogeneizar as variâncias (testes de Cochran e Bartellett).

Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Scott - Knott ($p < 0,05$), para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste de F ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E DA MADEIRA

Observa-se na Tabela 4, que as características dendrométricas (volume sem casca e porcentagem de casca) não diferiram estatisticamente. Assim, para essas características todos os clones teriam comportamento semelhante para a finalidade a que se destinam. Para a altura comercial, o clone F foi superior aos demais, produzindo maior volume de madeira.

Tabela 4 – Valores médios das características dendrométricas de seis clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.

Características dendrométricas	Clones de híbridos de <i>Eucalyptus</i>					
	A	B	C	D	E	F
Altura total da árvore (m)*	36,22 A	40,11 A	41,50 A	40,75 A	38,43 A	41,00 A
Altura comercial da árvore (m)	25,50 B	29,46 B	26,50 B	25,80 B	27,37 B	34,91 A
Conicidade (cm/m)	0,88 A	0,58 B	0,66 B	0,91 A	0,66 B	0,59 B
Volume da tora com casca (m ³)	0,20 B	0,19 B	0,19 B	0,20 B	0,24 A	0,19 B
Volume da tora sem casca (m ³)*	0,19 A	0,18 A	0,17 A	0,20 A	0,22 A	0,18 A
Volume casca (m ³)*	0,01 A	0,01 A	0,02 A	0,01 A	0,02 A	0,01 A
Porcentagem de casca (%)*	6,06 A	6,10 A	10,18 A	6,69 A	8,87 A	6,82 A

* Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas por uma mesma letra na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ($p > 0,05$).

Os clones A e D tiveram as maiores conicidades. Toras mais cônicas têm menores rendimentos em madeira serrada. Grosser (1980) afirma que esta característica irá influenciar negativamente no rendimento em madeira serrada, somente quando apresentar valores superiores a 1 cm/m para o diâmetro ou 3 cm/m para a circunferência da tora.

O clone E teve a maior espessura e volume de casca. Oliveira et al. (1999) enfatizaram que o teor de casca na madeira pode superestimar a produtividade dos fustes das plantações florestais. Árvores com maiores quantidades de casca, quando desdobradas, apresentam maior quantidade de resíduo e, conseqüentemente, menor de material aproveitável.

No entanto, o rendimento em madeira serrada pode ser afetado pela interação de diversas características das toras, sendo os mais importantes o

diâmetro, o comprimento, a conicidade e a qualidade, o que inclui a forma, rachaduras e podridões (STEELE, 1984). Geralmente o rendimento aumenta com o incremento do diâmetro das toras e diminui com a conicidade, porque o volume dessas é perdido com costaneiras e aparas.

Os clones A, E e F tiveram as maiores relações cerne:alburno (Tabela 5), sendo esta característica desejável para a produção de madeira serrada, pois o mercado valoriza, mais a madeira de cerne, uma vez que a mesma é menos atacada por organismos xilófagos, além do apelo estético.

Tabela 5 – Valores médios das características da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.

Características da madeira	Clones de híbridos <i>Eucalyptus</i>					
	A	B	C	D	E	F
Densidade básica (g cm^{-3})	0,54 D	0,56 D	0,68 A	0,59 C	0,65 B	0,55 D
Relação cerne:alburno	2,25 A	1,87 B	1,53 B	1,58 B	2,18 A	2,25 A
Deslocamento da medula (cm)*	1,61 A	1,55 A	0,99 A	0,82 A	1,38 A	1,22 A
Excentricidade da medula (%)*	7,27 A	6,70 A	4,32 A	3,76 A	6,57 A	6,46 A
Máximo desvio angular (°)	7,21 B	9,17 A	5,63 B	6,81 B	4,94 B	10,16 A

* Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas por uma mesma letra na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ($p > 0,05$).

Nota-se que o clone C, produziu madeira mais densa, seguido pelo E, ambos com densidade básica média maior que $0,60 \text{ g cm}^{-3}$. O clone D teve média intermediária aos demais, ao passo que os clones A, B e F produziram madeiras de menores densidades. De modo geral, lenhos mais densos são de secagem mais difícil e exigem maior esforço e energia para o desdobro das toras, por outro lado, são materiais de maior resistência mecânica e melhores para construção civil (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Espécies com maior proporção de cerne são mais utilizadas nas indústrias moveleiras e de construção civil, em virtude, do maior percentual de madeira adulta (PEREIRA et al., 2013). A quantificação das porcentagens de cerne e alburno é importante, dependendo do uso final da madeira, como seu uso em madeira serrada. Por outro lado, a maior permeabilidade do alburno facilita o processo de secagem; sendo menos susceptível ao surgimento de defeitos, como; fendilhamento e empenamento (OLIVEIRA et al., 1999).

Ao avaliar a relação C:A de seis clones de *Eucalyptus* sp., com 7,5 anos de idade, Pereira et al. (2013) encontraram valores médios de 0,49 a 1,01. Estes resultados são inferiores aos obtidos no presente trabalho. Tal fato, está provavelmente relacionado às características do material genético, condições edafoclimáticas da região e idade das árvores (PAES et al., 2002; 2007). A quantificação das porcentagens de cerne e alburno é importante, dependendo do uso final da madeira (Oliveira et al., 1999), como seu uso para serraria.

A grã da madeira tem por característica ser bastante variável, tanto entre espécies, quanto na própria espécie e dentro da mesma árvore. Ao considerar o número de árvores e posições dos pranchões diametrais em que os corpos de prova foram produzidos, percebe-se que ocorreu variação entre os valores de MAD da madeira dos clones de eucaliptos estudados (Tabela 5).

Os clones B e F tiveram os maiores desvios de grã, quando comparados aos demais. Para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos de idade, França (2014) obteve médias de MAD variando de 6,69 a 29,80°. Deste modo, os clones de *Eucalyptus* estudados tiveram valores médios de MAD inferiores ao mínimo (clones E e C) e ao máximo (demais clones); obtidos pelo autor citado.

Pesquisa realizada por Vidaurre et al. (2017), para a madeira de *Khaya ivorensis* (19 anos), constatou-se que um maior desvio da grã, causou maior contração radial e volumétrica da madeira, podendo ocasionar empenamentos, torções e dificultar a trabalhabilidade da madeira e o seu uso final na forma de produtos do processamento mecânico secundário.

As contrações tangencial, radial e volumétrica também variaram entre as posições avaliadas (Tabela 6). Para a posição 1 (externa), os clones tiveram contração tangencial semelhante. No entanto, para as posições 2 e 3 (intermediária e interna), os clones A e D foram mais estáveis dimensionalmente. Para a contração radial (posição 1) os clones A, D e F, foram os mais estáveis. Para a posição 2, as madeiras mais estáveis foram as dos clones A e D, este também foi o mais estável para a posição 3. Para a contração volumétrica, os clones mais estáveis foram o A e o C (posições 1 e 3) e o D (posição 2).

Tabela 6 – Médias das propriedades físicas da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

Propriedades Físicas	Posição	Clones de híbridos de <i>Eucalyptus</i>					
		A	B	C	D	E	F
Densidade Básica (g cm ⁻³)	1	0,55Da	0,67Ca	0,78Aa	0,71Ba	0,65Ca	0,55Da
	2	0,47Eb	0,51Db	0,72Ab	0,51Db	0,61Bb	0,56Ca
	3	0,46Cb	0,42Dc	0,61Ac	0,45Cc	0,48Cc	0,53Ba
Contração Tangencial (%)	1	11,92Aa	12,11Aa	12,31Aa	11,55Aa	13,07Aa	13,40Aa
	2	9,01Cb	11,45Aa	10,96Aa	8,37Cb	12,21Aa	9,91Bb
	3	5,91Bc	8,41Ab	8,37Cb	6,43Bc	8,14Ab	7,24Ac
Contração Radial (%)	1	6,89Ba	8,75Aa	8,03Aa	7,25Ba	8,95Aa	6,76Ba
	2	4,78Bb	5,91Ab	6,12Ab	4,63Bb	6,44Ab	6,03Aa
	3	4,83Bb	5,11Ac	5,72Ab	3,77Cc	4,42Bc	4,71Bb
Contração Volumétrica (%)	1	17,56Ca	23,76Aa	14,19Cb	22,43Aa	10,56Cc	17,45Ab
	2	23,49Aa	19,93Ba	22,22Aa	18,29Ba	17,46Ab	13,11Bb
	3	16,17Ca	19,07Ba	12,22Db	15,12Cb	9,79Cc	15,85Ab
Coeficiente de Anisotropia	1	1,76Aa	1,33Bc	1,56Ba	1,64Ba	1,48Bb	2,05Aa
	2	1,94Aa	2,15Aa	1,85Aa	1,86Aa	2,02Aa	1,65Aa
	3	1,37Bb	1,76Ab	1,55Ba	1,77Aa	1,97Aa	1,93Aa

1 - Posição externa; 2 - Posição Intermediária; 3 - Posição Interna. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Para a densidade básica da madeira nas posições avaliadas (Tabela 6), com exceção do clone F, o cerne externo foi mais denso. O clone C teve para as três posições, maiores médias que os demais. De maneira geral, o clone A produziu madeira de menor densidade. As madeiras mais densas possuem maiores propriedades mecânicas e são melhores para empregos que exigem maiores esforços, como construção civil e pisos.

Para o coeficiente de anisotropia, os clones A e F (posição 1) apresentaram os maiores valores. Para a posição 2, os clones tiveram comportamentos semelhantes. Para a posição 3, os clones A e C, os coeficientes foram menores que os demais. Madeiras com menores coeficientes de anisotropia, associado com menores valores individuais de contração tangencial, radial e volumétrica são indicadas para finalidades em que se requerem menores empenamentos, como portas, janelas, móveis e pisos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

4.2 ÍNDICE DE RACHADURAS DE EXTREMIDADES DE TORAS - IRTT

O IRTT (Tabela 7), da base das toras, não diferiu estatisticamente entre os clones, no entanto, o IRTT do topo das toras, foi maior nos clones C, D e E e menores para os clones A, B e F. Isto indica que tais cones possivelmente, terão maior rendimento em madeira serrada.

Tabela 7 – Médias de índices de rachaduras de topo de toras (IRTT) de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

IRTT (mm)	Clones de híbridos de <i>Eucalyptus</i>					
	A	B	C	D	E	F
Base	56,487 A	51,136 A	72,598 A	87,988 A	49,908 A	61,781 A
Topo	38,508 B	10,655 B	85,954 A	78,420 A	64,967 A	37,627 B

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem entre si (Scott-Knott; $p < 0,05$).

As rachaduras de topo normalmente ocorrem até um período de três (MALAN, 1979), quatro (SCHACHT; GARCIA, 1997; SCHACHT et al., 1998); cinco dias (BARISKA, 1990) ou uma semana após a derrubada da árvore (OLIVEIRA et al., 1999). Posteriormente a esse período, geralmente ocorrem fendilhamentos adicionais, além de empenamentos nas tábuas, em decorrência da influência de outros tipos de tensões existentes nas toras (HILLIS, 1968; PURNELL, 1988).

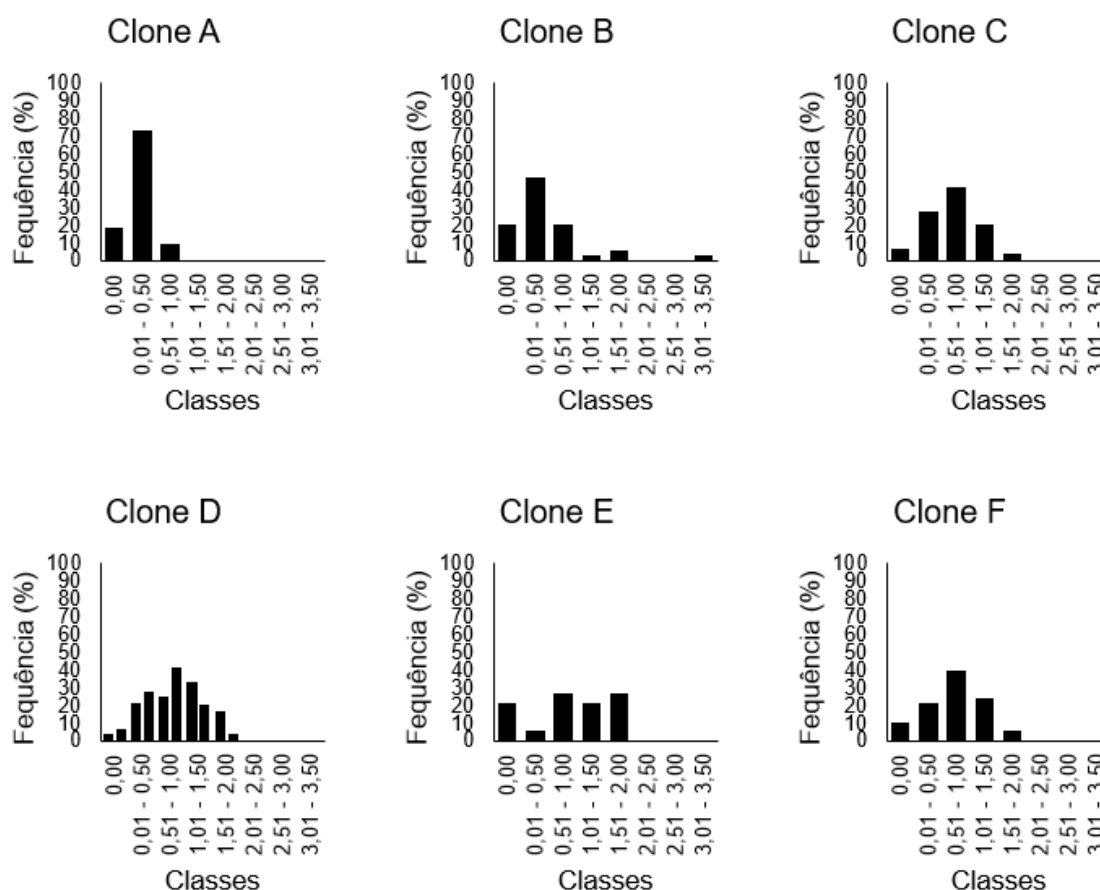
O IRTT está relacionado com as tensões de crescimento da árvore, em que plantas com elevado nível de tensões desenvolvem rachaduras radiais durante e após a colheita, principalmente se forem expostas ao sol (GONÇALEZ et al., 2006). Foi encontrado na literatura trabalhos relatando análise de rachaduras de topo de toras de eucalipto e em outras espécies (AGUIAR; JANKOWSKY, 1986; LIMA, 2000; TREVISAN et al., 2013). Muitos deles adotaram metodologias diferentes da utilizada nesta pesquisa, como os de Santos (2002) e Lopes (2003), dificultando a comparação com os resultados da pesquisa.

4.3 EMPENAMENTOS E RACHADURAS DE TÁBUAS SATURADAS

Para o encurvamento, o clone A foi o que teve a maior quantidade de amostras com valores menores ou iguais a 0,50%, o que atende ao limite estabelecido pela

NBR 9487 (ABNT, 1986) e permite um maior aproveitamento e melhor classificação das peças serradas. O clone com maior número de amostras com valor acima do limite estabelecido foi o D (Figura 12).

Figura 12 – Histogramas de frequência de encurvamentos de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.

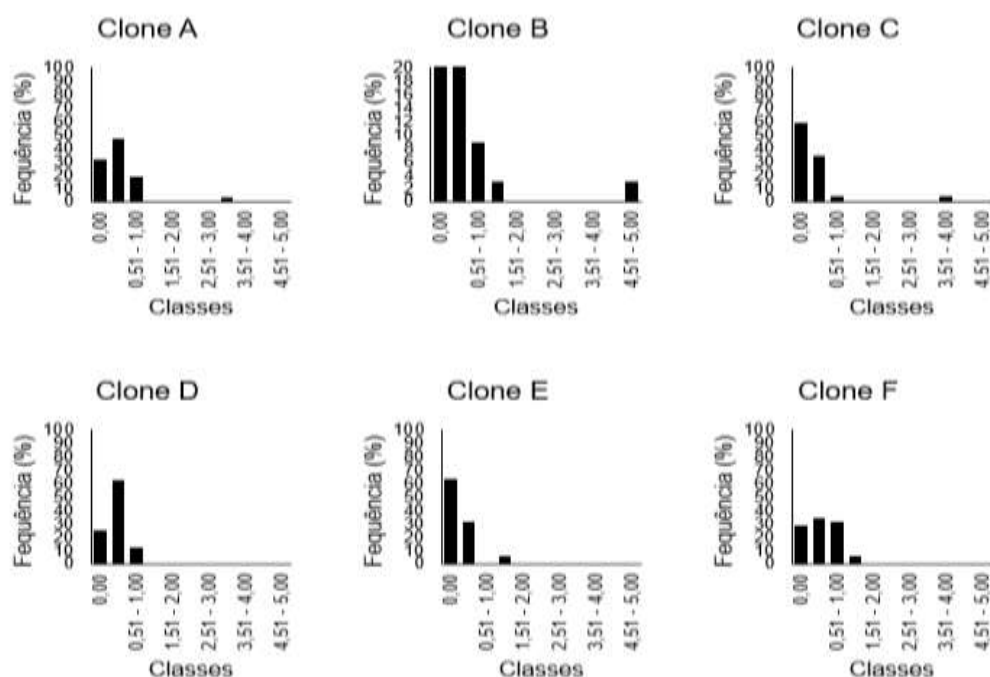


Fonte: O autor.

O clone E foi o que menos apresentou arqueamento nas tábuas saturadas. Das amostras analisadas apenas uma não atendeu ao limite estabelecido pela norma, já o clone com maior número de peças arqueadas foi o F (Figura 13).

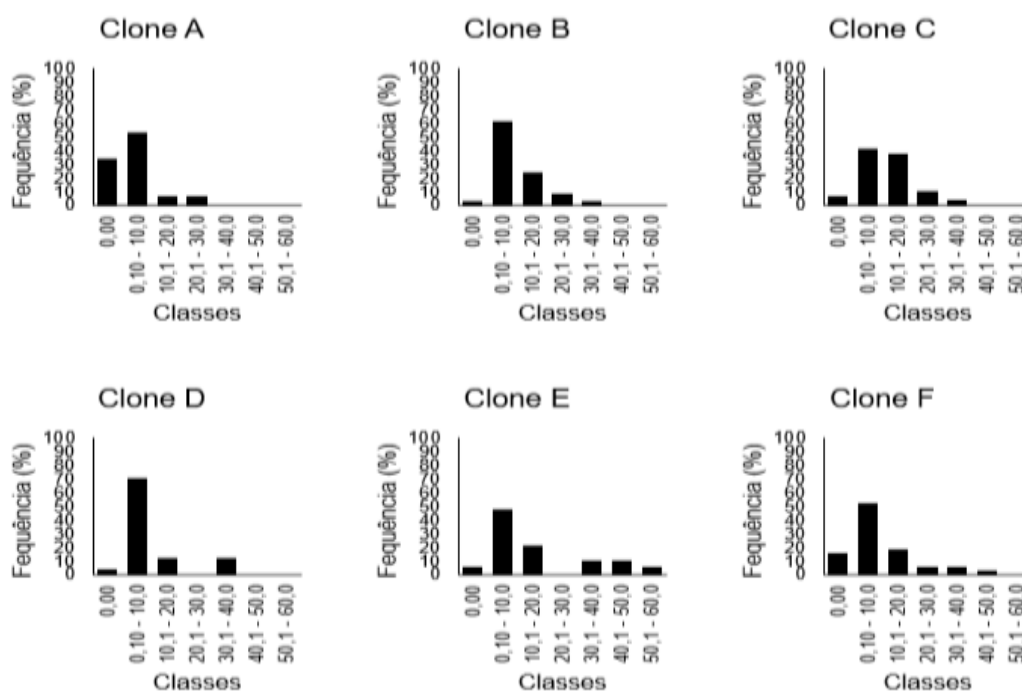
Para o índice de rachaduras das tábuas saturadas (Figura 14), o clone A foi o que teve maior número de amostras analisadas com porcentagens de rachaduras menores ou iguais a 10,0%, o que atende ao limite estabelecido pela NBR 9487 (ABNT, 1986).

Figura 13 – Histogramas de frequência de arqueamentos de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.



Fonte: O autor.

Figura 14 – Histogramas de frequência de rachaduras de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.



Fonte: O autor.

Para França (2014), tábuas tangenciais e retiradas próximas às costaneiras apresentaram baixos índices de rachaduras, pela região apresentar provavelmente lenho adulto em sua maior composição, possuindo melhor resistência a rachaduras. Em trabalho realizado por Lima et al. (2002) com eucalipto foi obtido correlação positiva e significativa. Diante disso eles afirmaram que a seleção de árvores por meio de rachaduras de topo de toras pode produzir ganhos com a redução das rachaduras nas extremidades das peças serradas.

4.4 SECAGEM NATURAL DA MADEIRA, EMPENAMENTOS E RACHADURAS DE TÁBUAS SECAS

Durante o processo de preparo da pilha de secagem a umidade das tábuas não foi medida, pois estas se encontravam na condição saturada. Decorridos 100 dias de secagem natural, foi realizada a primeira medição da umidade de algumas peças utilizadas como controle (número mínimo de três por clone), e notou-se que com o passar dos dias não houve diferença significativa de redução da umidade, por tanto, 100 dias foram suficientes para que a pilha chegasse no teor de umidade de equilíbrio com o ambiente (Tabela 8).

Tabela 8 – Umidades das peças controles aos 100 e 210 dias.

Clone	Umidade média após 100 dias (%)	Umidade média após 210 dias (%)
A	19,92	20,08
B	18,78	18,50
C	20,15	19,40
D	19,70	19,40
E	21,40	21,00
F	20,06	19,90
Médias	19,80	19,60

Decorridos os 210 dias, desmontou-se a pilha e realizou-se a medição da umidade das peças que antes não se tinha acesso. Nota-se que, de maneira geral, houve homogeneidade entre as amostras quanto à secagem da madeira dos diferentes materiais genéticos. O clone B foi aquele que perdeu mais umidade e o E que se manteve mais úmido (Tabela 9).

Tabela 9 – Comportamento da secagem da madeira dos clones de híbridos de *Eucalyptus* após 210 dias.

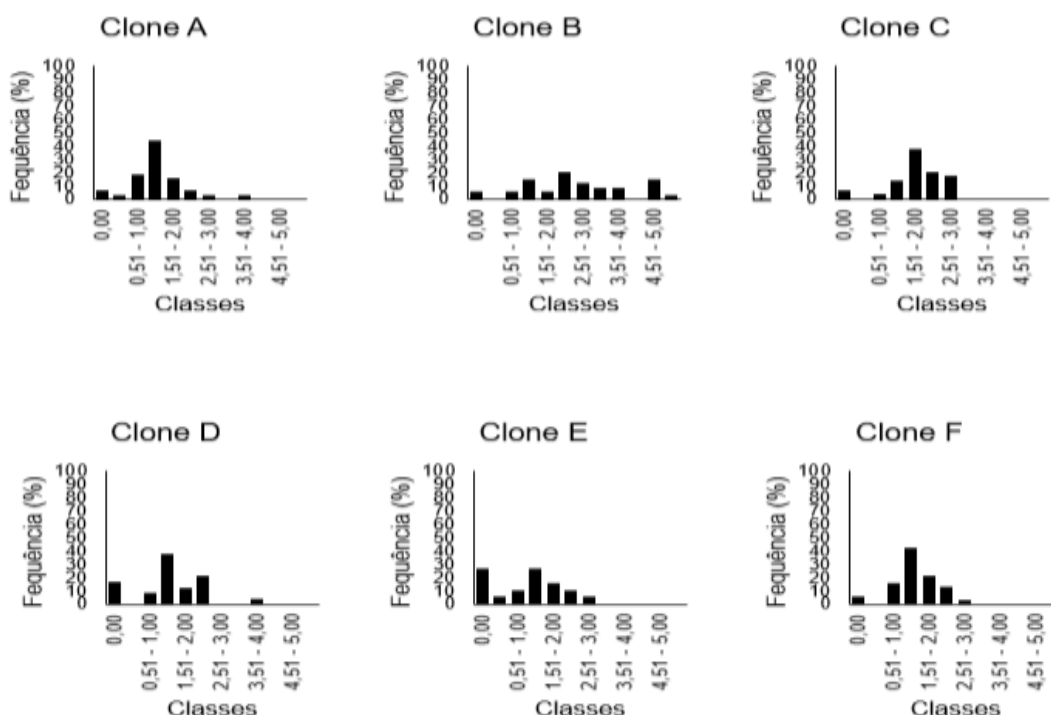
Clone	Umidade Média (%)	Coefficiente de Variação (%)	Umidade Mínima (%)	Umidade Máxima (%)	Amplitude (Pontos percentuais)
A	20,8	2,56	19,5	22,1	2,6
B	18,8	3,96	17,6	20,3	2,7
C	20,0	4,19	18,0	21,3	3,3
D	20,5	3,05	19,4	21,2	1,8
E	22,2	7,40	18,9	26,2	7,3
F	20,7	3,28	18,4	21,8	3,4

O encanoamento das tábuas ocorreu somente após o processo de secagem. A medição do mesmo considera a menor dimensão (largura) da área da tábua, por isso, pequenas flechas causam valores de índice consideráveis. Por exemplo, para as amostras avaliadas (Figura 15), a maioria das peças estava com os índices superiores ao limite de 0,50% preconizado pela NBR 9487 (ABNT, 1986). Destaca-se que houve a ocorrência de poucas tábuas não encanoadas.

A ausência de encanoamento em tábuas úmidas é uma evidência de que esse defeito está relacionado, principalmente às tensões que ocorrem com a secagem da madeira, e não àquelas originadas pelo crescimento das árvores. Uma expressiva diferença entre contração tangencial e radial, variações do ângulo micro fibrilar e da grã e presença de lenho de tração podem causar os empenamentos das tábuas (SIMPSON, 1991; WALKER, 2006).

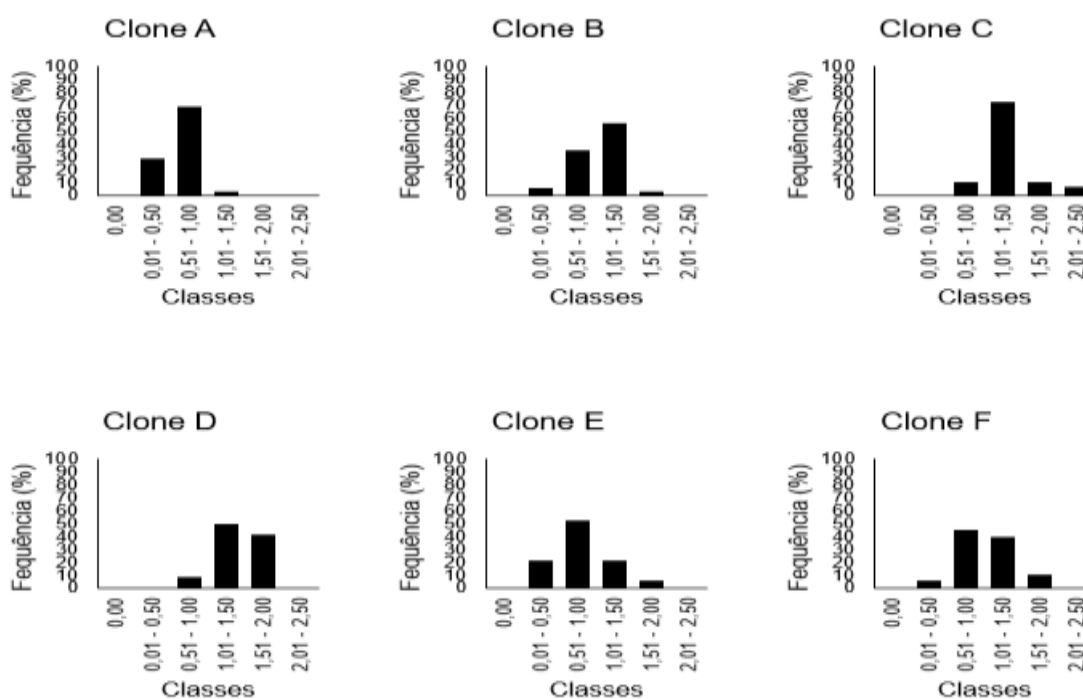
Os índices de encurvamento e arqueamento das tábuas ao final de 210 dias de secagem ao ar tiveram evolução do estado úmido para o seco (20%). Para o empenamento, os clones C e D tiveram piores comportamentos com o passar dos dias, pois ao término das avaliações nenhuma amostra atendeu ao limite estabelecido pela norma citada. Observa-se que não houve nenhum clone sem nenhum encurvamento (Figura 16). O clone A foi o que apresentou maior número de amostras que atendem a norma.

Figura 15 – Histogramas de frequência de encanoamentos de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.



Fonte: O autor.

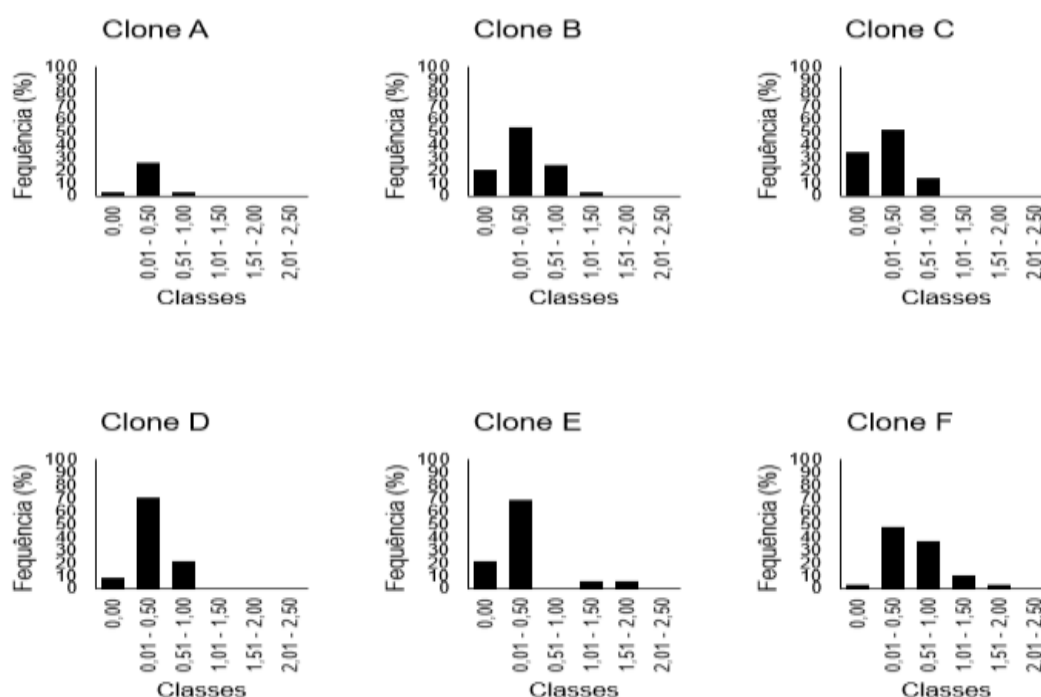
Figura 16 – Histogramas de frequência de encurvamentos de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.



Fonte: O autor.

Os índices de arqueamento aumentaram com a secagem (Figura 17), porém grande parte destes ainda ficou dentro do aceitável pela NBR 9487 (ABNT, 1986). Ao serem comparados os clones, o A e E foram aqueles com maiores números de amostras dentro dos limites estabelecidos.

Figura 17 – Histograma de frequência de arqueamentos de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.

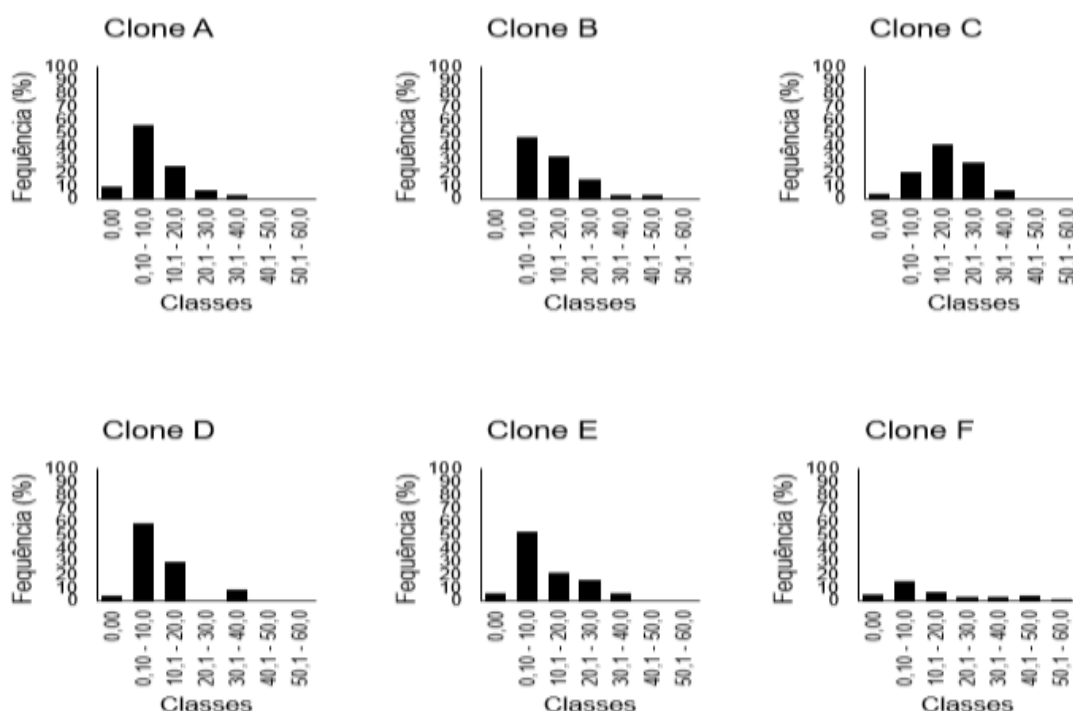


Fonte: O autor.

As tábuas secas avaliadas tiveram uma evolução no IRTT ao longo de 210 dias de secagem. O clone A ainda permaneceu com o maior número de amostras dentro do aceitável (Figura 18).

Segundo Lima, Freitas e Garcia (2012) as rachaduras podem ser intensas e se acentuarem durante o período de secagem. Isto normalmente ocorre em algumas espécies do gênero *Eucalyptus* de crescimento rápido. Para Garcia (1997), essa perda poderia ser amenizada se fossem utilizadas toras de pequenos comprimentos, já que cada corte transversal efetuado no tronco da árvore produzirá duas extremidades livres e, portanto, sujeitas às rachaduras. Em pesquisas realizadas por Lima e Garcia (2008) em tábuas de *E. grandis*, eles obtiveram um aumento de 10,82 cm nas rachaduras durante o período de secagem, ou seja, 120 dias.

Figura 18 – Histogramas de frequência de rachaduras de tábuas de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos.



Fonte: O autor.

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

4.5.1 Ensaios destrutivos

Para a resistência ao cisalhamento e dureza axial, radial e tangencial, o clone C apresentou maior média e o B a menor (Tabela 10). Estes resultados estão coerentes, uma vez que, o C produziu madeira com maior densidade (Tabelas 5 e 6). A resistência ao cisalhamento, também pode ser entendida como a capacidade da madeira em resistir à ação de forças, que tendem a fazer com que uma parte do material deslize sobre a outra adjacente, esta propriedade cresce com o aumento da densidade e tem como principais exemplos de peças expostas a estes esforços as vigas, os entalhes e as juntas (OLIVEIRA, 2007).

Tabela 10 – Médias da resistência ao cisalhamento e dureza Janka para a madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* com 14 anos, a 11% de umidade.

Ensaio Mecânico	Clones de híbridos de <i>Eucalyptus</i>					
	A	B	C	D	E	F
Cisalhamento (MPa)	9,12 C	8,16 E	12,05 A	9,69 B	8,83 D	9,74 B
Dureza axial (MPa)	43,54 D	39,76 E	70,41 A	44,02 D	48,30 C	54,25 B
Dureza radial (MPa)	35,73 C	35,11 C	59,15 A	39,96 B	40,79 C	42,68 B
Dureza tangencial (MPa)	29,41 D	27,84 D	55,58 A	31,69 D	37,56 D	45,24 B

Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem entre si (Scott-Knott; $p < 0,05$).

Para dureza Janka, os resultados estão de acordo com outros encontrados na literatura para a madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* com idades entre 6 e 17 anos (GONÇALEZ et al., 2006; SANTOS et al., 2008; FRANÇA, 2014).

Para a resistência à compressão paralela às fibras, flexão estática (MOR e MOE), a madeira da posição cerne externo foi mais resistente que a da porção do cerne interno (posição 2), exceto para o MOE, clone A em que não houve diferença entre as madeiras das duas posições avaliadas (Tabela 11). O clone C (posição 1) obteve maior média para compressão paralela, e os demais não diferiram estatisticamente entre si. Para a posição 2, os clones D e E apresentaram as maiores médias e o A, a menor.

Tabela 11 – Médias de resistência à compressão paralela às e flexão estática (MOE e MOR) para a madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* com 14 anos, a 11% de umidade, para as posições avaliadas.

Ensaio Mecânico	Posição	Clones de híbridos de <i>Eucalyptus</i>					
		A	B	C	D	E	F
Compressão paralela (MPa)	1	42,11 Bb	43,85 Bb	53,75 Ab	43,62 Bb	44,45 Bb	44,39Bb
	2	46,89Da	58,87Ca	71,08 Ba	78,31 Aa	67,83 Ba	74,68 Aa
Flexão estática (MOE) (GPa)	1	9,89 Ba	11,01 Bb	13,58 Ab	9,75 Bb	14,86 Ab	10,27 Bb
	2	10,53 Ca	16,46 Ba	21,30 Aa	19,46 Aa	23,08 Aa	20,33 Aa
Flexão estática (MOR) (MPa)	1	73,98 Bb	74,23 Bb	92,66 Ab	54,32 Cb	64,50Cb	61,46 Cb
	2	89,31 Ea	114,38 Da	153,42Aa	129,62 Ca	146,27 Ba	143,37 Ba

1 - Posição Interna; 2 - Posição externa. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Para o MOE (posição 1) os clones C e E tiveram as maiores médias, os demais não diferiram estatisticamente entre si. Na posição 2, os clones A e B foram os menos

resistentes mecanicamente. Para o MOR, o clone C (posições 1 e 2) teve a maior média e os clones D, E e F (posição 1) as menores. Para a posição 2, menores médias foram dos clones A e B. Estes resultados estão coerentes, uma vez que, os clones que produziram madeiras mais densas (Tabelas 5 e 6) foram mais resistentes.

Para a posição externa, as médias de compressão paralela às fibras dos clones C, D e F foram maiores que as reportadas por alguns pesquisadores, em que foram encontrados valores entre 30 e 68 MPa para madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com idades entre 9 e 17 anos (GONÇALVES, 2006; SANTOS, et al., 2008; FRANÇA, 2014), indicando que estes clones podem ser utilizados para finalidades onde se exigem maiores esforços.

As médias de MOE foram inferiores as reportadas por França (2014), o que pode ser justificado, uma vez que o pesquisador utilizou madeiras contendo cerne periférico, que possui lenho com melhores características.

Os valores de MOE aumentaram na direção medula-casca, o que confirma os resultados obtidos por Cruz et al. (2003) e Gonçalves (2006), em que madeiras de espécies de eucalipto têm variações significativas nas suas propriedades mecânicas na direção medula-casca.

As médias de MOR variaram, estando alguns de acordo com os encontrados na literatura, que estiveram entre 79 e 109 MPa para as madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idades entre 8 e 14 anos (OLIVEIRA, 1997; CRUZ et al., 2003; GONÇALVES, 2006; EVANGELISTA, 2007), mas também foram obtidas médias maiores que as reportadas nas literaturas, indicando clones com propriedades mecânicas mais resistentes.

4.5.2 Ensaio não destrutivo

As correlações entre os MOEs estático e dinâmico para as posições no clone e geral foram positivas (Tabela 12). Para os clones (geral), independentemente da posição avaliada, esta foi maior que 0,9, demonstrando que os métodos não destrutivos podem ser uma ferramenta viável para a estimativa do MOE, com a vantagem de não danificar o material ou estrutura que está sendo testada.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação de Pearson entre MOE estático e MOE dinâmico determinado por diferentes técnicas não destrutivas para a madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* aos 14 anos de idade.

Clone	Posição 1				Posição 2			
	E _{st} x E _{vl}	E _{st} x E _{vt}	E _{st} x E _{sw}	E _{st} x E _{fk}	E _{st} x E _{vl}	E _{st} x E _{vt}	E _{st} x E _{sw}	E _{st} x E _{fk}
A	0,896 **	0,661 **	0,637 **	0,836 **	0,249 ns	0,248 ns	0,060 ns	0,288 ns
B	0,653 **	0,629 **	0,270 ns	0,561 **	0,883 **	0,927 **	0,909 **	0,927 **
C	0,720 **	0,851 **	0,516 ns	0,475 ns	0,237 ns	0,330 ns	0,338 ns	0,336 ns
D	0,804 **	0,689 **	0,717 **	0,659 **	0,659 **	0,727 **	0,653 **	0,727 **
E	0,553 **	0,830 **	0,766 **	0,782 **	0,679 **	0,457 ns	0,533 ns	0,658 **
F	0,179 ns	0,352 ns	0,356 ns	0,359 ns	0,656 **	0,546 ns	0,462 ns	0,572 **
Geral	0,808 **	0,837 **	0,791 **	0,826 **	0,856 **	0,858 **	0,859 **	0,893 **

Clone	E _{st} x E _{vl}	E _{st} x E _{vt}	E _{st} x E _{sw}	E _{st} x E _{fk}
A	0,403 **	0,371 ns	0,227 ns	0,452 **
B	0,891 **	0,939 **	0,907 **	0,931 **
C	0,815 **	0,838 **	0,834 **	0,829 **
D	0,971 **	0,967 **	0,962 **	0,965 **
E	0,970 **	0,960 **	0,973 **	0,981 **
F	0,950 **	0,935 **	0,959 **	0,964 **
Geral	0,926 **	0,929 **	0,925 **	0,942 **

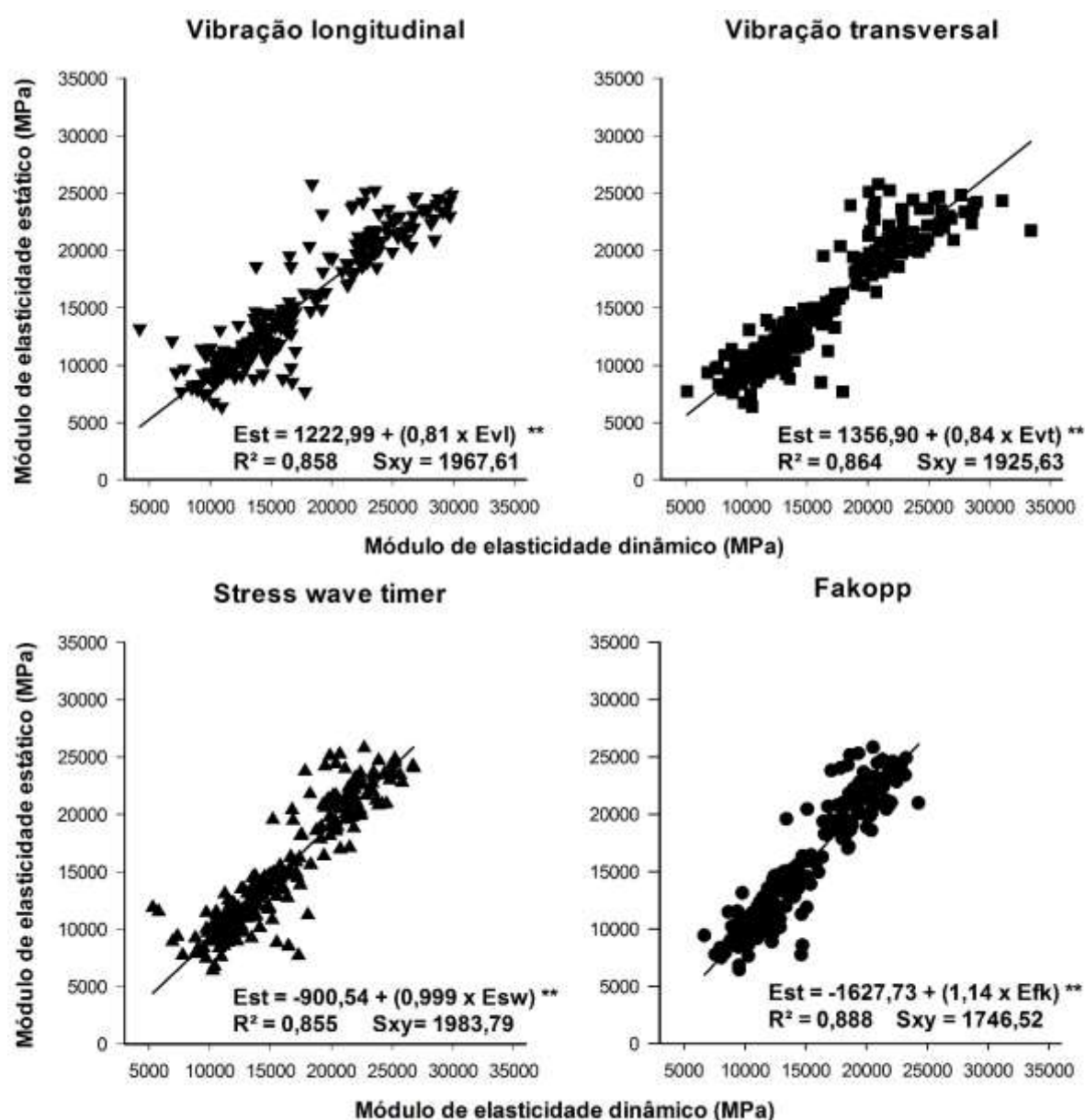
E_{st}: MOE estático; E_{vl}: MOE dinâmico por vibração longitudinal; E_{vt}: MOE dinâmico por vibração transversal; E_{sw}: MOE dinâmico por *stress wave timer*; E_{fk}: MOE dinâmico por Fakopp. **correlação significativa ($p < 0,01$); ns correlação não significativa ($p > 0,05$).

A posição 2, no geral teve as maiores correlações quando comparados com a 1, estes resultados quando analisados estatisticamente, tiveram correlação significativa ($p < 0,01$) para todos os clones. As técnicas dinâmicas avaliadas responderam com boa estimativa o MOE das madeiras estudadas. Tendo de maneira geral, independentemente da posição estudada, as melhores estimativas obtidas para o clone E, e as piores para o A.

TARGA et al., (2005) em pesquisas realizadas com madeiras de três espécies de eucaliptos, com 31 anos de idade, encontraram resultados dos coeficientes de correlação entre o ensaio não destrutivo (vibração. transvrsal.) e o modulo de elasticidade estático foi 0,93, valores semelhantes aos encontrados nesta pesquisa

A análise de regressão para os métodos não destrutivos e destrutivo (Figura 19) teve os coeficientes de determinação (R^2) acima de 80%. A técnica do stress wave Fakopp proporcionou os maiores valores de R^2 com a técnica destrutiva para as madeiras testadas, enquanto a do stress wave exibiu as menores. Isto pode estar relacionado com o equipamento utilizado, espécie florestal testada, mensuração das frequências e diferenças metodológicas para a obtenção dos valores entre as técnicas utilizadas.

Figura 19 – Análise de regressão para os métodos não destrutivos e destrutivo.



Est: MOE estático; E_{vl}: MOE dinâmico por vibração longitudinal; E_{vt}: MOE dinâmico por vibração transversal;
E_{sw}: MOE dinâmico por stress wave timer; E_{fk}: MOE dinâmico por Fakopp.

**Significativo a 1% ($P < 0,01$) pelo teste F para regressão e de t para coeficientes da equação.

Em pesquisa realizada por Feio et al. (2004) foram determinados os coeficientes de determinação do módulo de elasticidade e a resistência à compressão paralela às fibras. Os autores verificaram que a correlação entre MOE dinâmico e estático foi de 74%, valor inferior aos encontrados neste trabalho. A disparidade destes valores, provavelmente está relacionada com o equipamento utilizado, espécie florestal testada e a mensuração das frequências. Por outro lado, a estrutura anatômica, dimensões das fibras e grã da madeira são fatores que também interferem na propagação de ondas de tensão (ALVES et al., 2013)

4.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS MADEIRAS AVALIADAS

Quanto à análise química da madeira, os maiores valores de extrativos totais para o cerne interno foi encontrado no clone F. Para o cerne externo e alburno no clone B (Tabela 13). Os menores valores puderam ser observados nos clones A (cerne interno) e F (cerne externo e alburno).

Tabela 13 – Composição química secundária da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade, para as posições avaliadas.

Clone	Extrativos (%)			Cinzas (%)		
	Posição			Posição		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	12,76	16,09	14,19	0,34	0,15	0,27
B	13,45	18,88	14,75	0,22	0,11	0,12
C	14,75	15,92	14,17	0,18	0,15	0,15
D	14,12	16,68	13,80	0,22	0,13	0,14
E	12,89	15,81	14,04	0,22	0,13	0,14
F	15,05	13,30	13,79	0,24	0,16	0,18

Pode ser observado, de modo geral, que o maior teor de extrativos foi obtido no cerne externo e de cinzas para o interno. Isto pode ser justificado, uma vez que, plantas mais jovens retiram uma maior quantidade de minerais do solo em relação às adultas, ficando retido no lenho (madeira juvenil), que quando incinerado, dão origem às cinzas (LIMA, et al., 2007). Por outro lado, a madeira de cerne mais

externo possui paredes mais espessas que a da parte mais próxima à medula, e assim contém maior teor de extrativos.

A durabilidade natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos está diretamente relacionada aos teores de extrativos, principalmente aos constituídos de compostos tóxicos, com características antioxidantes e antifúngicas (KOCH; SCHMITT, 2013; MOORE et al., 2015).

Ao realizarem estudos com espécies de coníferas e folhosas, Kirker et al. (2016) explicitaram os extrativos como o principal responsável pela durabilidade da madeira aos agentes xilófagos. No entanto, a porcentagem de extrativos não foi diretamente correlacionada com essa característica. Assim, não somente a quantidade, mas também a classe de extrativos e o local onde se localizam na célula vegetal é que confere resistência natural às madeiras (PAES et al., 2004, CORASSA et al., 2013; GONÇALVES et al., 2013; CARVALHO et al., 2015).

Para os teores de cinzas (Tabela 13), o maior resultado foi obtido para o clone A (cerne interno), F (cerne externo) e A (alburno). Os menores valores foram observados nos clones C (cerne interno) e B (cerne externo e alburno).

Ao avaliarem a resistência natural das espécies *Chlorophora tinctoria*, *Hymenolobium petraeum*, *Anadenanthera columbrina* var. *cebil*, *Anadenanthera peregrina*, *Dalbergia nigra*, *Manilkara longifolia*, *Peltogine nitens*, *Caesalpiniae echinata*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus torelliana* ao cupim *Cryptotermes brevis*, Gonçalves et al. (2013) constataram que os maiores valores de mortalidade foram observados nas madeiras com valores de massa específica, teores de extrativos ou de cinzas mais elevados. No entanto, os mesmos autores destacaram que não existe uma característica única, que possa ser empregada, a fim de relacionar o ataque provocado pelas térmitas nas madeiras estudadas.

Paes et al. (2013) ao analisarem a durabilidade natural de *Anadenanthera colubrina*, *Tabebuia aurea*, *Amburana cearensis* e *Eucalyptus camaldulensis* ao ataque da térmita *Nasutitermes corniger*, concluíram que uma maior quantidade de cinzas proporcionou uma maior resistência ao ataque, em virtude, da capacidade dos compostos inorgânicos ocasionarem desgastes ao aparelho bucal do inseto.

Para o teor de lignina total (Tabela 14) os maiores valores foram obtidos para os clones E (cerne interno) e D (cerne externo e alburno). Para a holocelulose, os maiores valores foram para os clones A (cerne interno), E (cerne externo) e C (alburno). Já os menores valores para lignina total foram encontrados nos clones B

(cerne interno), E (cerne externo) e C (alburno) e para holocelulose, nos clones F (cerne interno) e B (cerne externo e alburno).

Ao avaliarem um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*, com 7 anos de idade, Andrade et al. (2010) encontraram valores médios de 28,2 e 66,6% de lignina total e holocelulose, respectivamente. Valores próximos aos encontrados neste trabalho para os clones, mesmo considerando que são de procedências e idades distintas.

Tabela 14 – Composição química primária da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

Clone	Lignina Total (%)			Holocelulose (%)		
	Posição			Posição		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	29,74	30,82	28,30	57,16	52,95	57,24
B	29,05	30,81	29,68	57,28	50,20	55,45
C	29,09	29,17	27,29	56,57	54,79	58,40
D	30,66	31,43	29,82	55,04	51,74	56,23
E	31,27	27,78	28,05	55,61	56,27	57,77
F	30,21	32,91	27,31	54,50	53,63	58,72

Em estudo com seis espécies de eucaliptos aos 22 anos de idade, Botelho; Santana e Alves (2000) encontraram valores de extrativos totais que variaram desde 6,4 a 21,6% e teores de lignina entre 23,9 a 33%, valores semelhantes aos obtidos neste trabalho. Tais valores podem ter variações resultantes da influência de fatores como; espécie, idade, características do solo, condições climáticas, adubação, variação genética e tratamentos silviculturais (REIS et al., 2012, COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015).

Quanto aos teores de lignina total e de holocelulose, os maiores valores foram observados no cerne externo e no alburno, respectivamente. O teor de holocelulose na madeira é atingido na fase jovem, com tendência de estabilização com aumento da idade da árvore (HSING, 2013), enquanto a lignificação ocorre na parede celular após o completo amadurecimento da célula.

4.7 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS

Ao avaliar a resistência natural da madeira dos clones estudados (Tabela 15), notou-se para os fungos *Neolentinus lepdeus* e *Trametes versicolor* que, de maneira geral, o alburno foi a posição com maior perda de massa.

Tabela 15 – Perda de massa causada por fungos xilófagos na madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

<i>Neolentinus lepdeus</i>			
Clone	Posição na Madeira / Perda de massa (%)		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	7,83 Ab	0,74 Bb	6,06 Ab
B	11,01 Ab	5,71 Ba	6,82 Bb
C	2,43 Bc	0,79 Bb	5,88 Ab
D	11,33 Aa	1,25 Bb	10,35 Aa
E	12,93 Aa	1,43 Cb	7,61 Bb
F	15,11 Aa	1,40 Cb	9,79 Ba

<i>Trametes versicolor</i>			
Clone	Posição na Madeira / Perda de Massa (%)		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	2,92 Bc	1,19 Ba	8,83 Aa
B	4,79 Bb	0,79 Ca	11,29 Aa
C	1,87 Bc	1,05 Ba	14,00 Aa
D	8,14 Ba	1,55 Ca	11,42 Aa
E	4,46 Bb	0,68 Ca	10,72 Aa
F	4,25 Bb	1,01 Ca	8,51 Aa

<i>Postia placenta</i>			
Clone	Perda de massa (%)	Posição na Madeira	Perda de massa(%)
A	28,49 a	Cerne Interno	33,15 a
B	26,33 a		
C	17,01 a	Cerne Externo	13,86 c
D	21,67 a		
E	24,93 a	Alburno	25,14 b
F	25,86 a		

<i>Gloeophyllum trabeum</i>			
Clone	Perda de massa (%)	Posição na Madeira	Perda de massa (%)
A	13,31 a	Cerne Interno	17,90 a
B	12,43 a		
C	7,11 b	Cerne Externo	5,09 b
D	15,39 a		
E	12,90 a	Alburno	15,57 a
F	15,98 a		

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

A resistência biológica do cerne externo, quando submetido ao ataque do *Neolentinus lepdeus* e *Trametes versicolor*, teve comportamento semelhante, demonstrando ser a região mais resistente. Isso pode ser justificado pela maior quantidade de extrativos presentes nessa região.

Para o fungo *Postia placenta*, pode-se observar que não houve diferença significativa entre os clones quanto à perda de massa. Entre as posições da madeira, nota-se que a região mais resistente foi o cerne externo, seguidos do alburno e cerne interno.

Quanto às amostras de madeira submetidas ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, o clone mais resistente foi o C e os demais não tiveram diferença estatística entre si. Quanto à posição na madeira, o cerne externo teve menor perda de massa, já o interno e alburno não diferiram estatisticamente entre si.

Durante o ensaio com fungos xilófagos, ao avaliar as posições na madeira, pode-se observar em todos os clones, que o cerne externo teve menor perda de massa. Isto provavelmente ocorreu por ser a posição da madeira em que está concentrada a maior porcentagem de extrativos. A presença de compostos químicos potencialmente tóxicos nos extrativos, como; taninos e outros compostos fenólicos, previnem ou limitam o ataque de fungos apodrecedores (CLAUSEN, 2010).

As madeiras provenientes do cerne interno e alburno tiveram comportamentos semelhantes. A porção interna da árvore é formada por madeira juvenil com menor resistência ao ataque de fungos xilófagos. Resultado semelhante foi encontrado por Trevisan et al. (2014), que observaram níveis inferiores de deterioração na madeira da porção externa de toras de *Eucalyptus grandis* e concluíram que a mesma, por ter características de lenho adulto, foi mais durável em relação à procedente de porções internas do tronco, contendo características de lenho juvenil.

No geral, as posições nas madeiras com maiores teores de extrativos foram menos susceptíveis ao ataque dos fungos xilófagos, assim, fica evidenciado que a classe ou tipo dos componentes secundários, bem como sua localização no tecido lenhoso são os responsáveis pela redução da perda provocada por esses agentes (PAES et al., 2004; ROMANINI et al., 2014; KIRKER et al., 2016). Os extrativos presentes na parede celular que causam uma proteção natural à madeira (SJÖSTRÖM, 1981) são formados durante as modificações químicas resultantes da transformação do alburno em cerne (MOYA et al., 2014), no entanto, substâncias

presentes no lume das células podem apresentar compostos de natureza menos tóxica, permitindo o ataque de fungos xilófagos.

4.8 ENSAIO COM TÉRMITAS XILÓFAGAS

4.8.1 Térmitas subterrâneas (Alimentação forçada)

Para as notas de desgaste causadas pelas térmitas às madeiras dos clones (Tabela 16) foi observado que o cerne externo, no geral, teve as maiores notas, indicando menor desgaste.

Tabela 16 – Desgaste, perda de massa e mortalidade das térmitas na madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

Clone	Posição na Madeira		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	6,36 Ab	6,46 Ab	5,44 Bb
B	3,76 Bc	7,42 Aa	6,63 Aa
C	7,96 Aa	8,24 Aa	7,55 Aa
D	5,75 Bb	7,10 Ab	6,96 Aa
E	5,34 Bb	7,87 Aa	7,14 Aa
F	5,55 Bb	6,81 Ab	5,71 Bb
Posição		Mortalidade	
Cerne Interno		86,07 b	
Cerne Externo		99,08 a	
Alburno		78,51 b	
Clone	Perda De Massa (%)		
	Posição na Madeira		
	Cerne Interno	Cerne Externo	Alburno
A	9,08 Aa	7,05 Aa	9,76 Aa
B	12,03 Aa	6,18 Ba	7,45 Ba
C	5,10 Ab	3,28 Bb	5,13 Ab
D	10,04 Aa	3,45 Bb	4,60 Bb
E	10,91 Aa	4,40 Bb	8,46 Aa
F	9,97 Aa	5,22 Ba	10,41 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

A análise da perda de massa (Tabela 16), dentro das posições da madeira indicou que o cerne externo apresentou, para todos os clones, menor perda de massa. No geral, tanto para desgaste quanto perda de massa, o clone C foi o que se mostrou mais resistente em todas as posições avaliadas.

Quanto à mortalidade (Tabela 16), o cerne externo apresentou maior porcentagem de indivíduos mortos seguidos do cerne interno e alburno, que não diferiram estatisticamente entre si. Estas diferenças de mortalidade entre posições na madeira, provavelmente estão relacionadas à presença de componentes químicos que atuam como repelentes ao ataque de térmitas, ou que ocasionam redução na digestibilidade da madeira, por parte da microflora existente no organismo dos mesmos (MORRELL, 2012).

4.8.2 Térmitas subterrâneas (Preferência alimentar)

O clone C foi que o teve menor perda de massa, os demais não deferiram estatisticamente entre si (Tabela 17), o mesmo ocorrendo com relação às posições de retirada da madeira no tronco, pois as térmitas colonizaram (Figura 20) e deterioraram praticamente todas as amostras (Figura 21), o que não foi consumido completamente teve nota 0 (ruptura dos corpos de prova; Figura 21C). Destaca-se que a colônia utilizada no ensaio tinha um grande número de térmitas, medindo aproximadamente 75 cm de comprimento por x 60 cm de diâmetro (Figura 10).

Tabela 17 – Perda de massa causada pelas térmitas subterrâneas na madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

Clone	Perda de Massa (%)
A	98,63 a
B	98,62 a
C	88,01 b
D	94,65 a
E	97,79 a
F	99,42 a

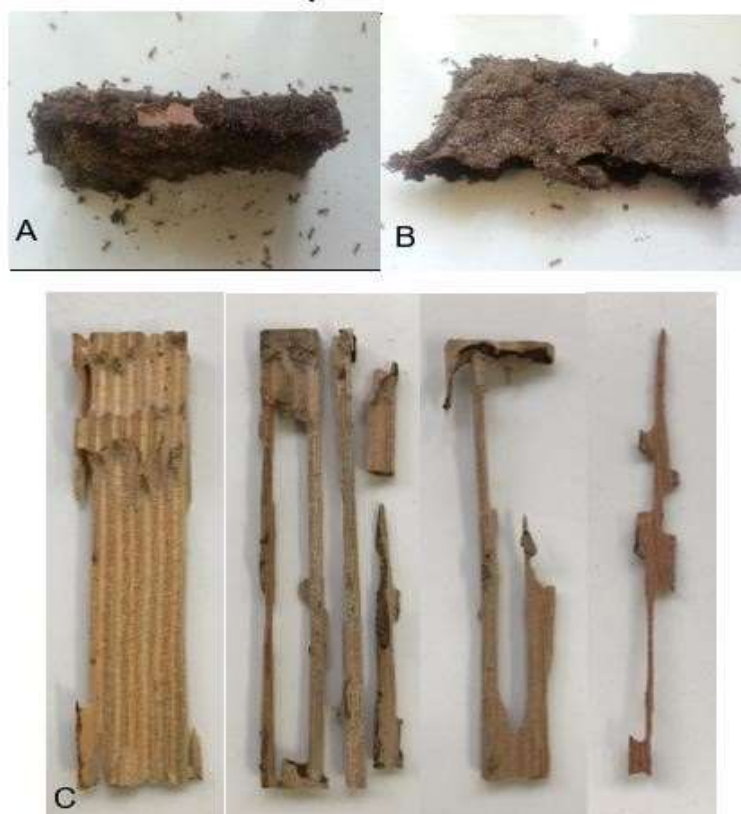
Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Figura 20 – Corpos de prova após o término do experimento na caixa onde foi montado o ensaio.



Fonte: O autor.

Figura 21 – Imagem dos corpos de prova após o término do experimento. Consumo parcial (A), total da amostra (B) e amostras após serem limpas para as avaliações (C).



Fonte: O autor.

4.8.3 Térmitas de madeira seca

Pode ser observado que as madeiras não foram muito atacadas pelas térmitas e houve alta taxa de mortalidade (Tabela 18). Isto, provavelmente está relacionado à presença de alguma substância tóxica em concentrações suficientes para causar a mortalidade das mesmas, após consumirem a madeira (PAES, 2002; SILVA et al., 2004; GONÇALVES et al., 2013, BATISTA et al., 2016), dentre estas, aquelas com características antioxidantes como, as flavonanas, ácidos tânicos, morina e catequina (LITTLE; SCHULTZ; NICHOLAS, 2010) são as mais efetivas contra este tipo de térmitas. Madeiras que apresentam, em sua composição, estas substâncias têm potencial para serem utilizadas na fabricação de móveis por se mostrarem resistentes ao ataque de térmitas de madeira seca.

Tabela 18 – Mortalidade, perda de massa e desgaste causados pelas térmitas na madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos, para as posições avaliadas.

Clone	Mortalidade (%)		
	Posição na Madeira		
	Cerne Externo	Cerne Interno	Alburno
A	58,75 Aa	50,83 Aa	37,08 Ba
B	48,33 Bb	62,50 Aa	25,00 Cb
C	47,50 Ab	56,67 Aa	33,33 Bb
D	53,75 Ab	53,75 Aa	30,83 Bb
E	50,42 Ab	44,17 Aa	23,75 Bb
F	68,75 Aa	52,08 Ba	42,50 Ba
Clone	Perda de Massa (%)		
	Posição na Madeira		
	Cerne Externo	Cerne Interno	Alburno
A	1,05 Ab	1,31 Aa	1,23 Aa
B	1,03 Ab	0,57 Ab	1,15 Aa
C	1,13 Ab	1,63 Aa	0,97 Aa
D	2,69 Aa	1,23 Aa	0,76 Aa
E	1,97 Aa	1,22 Ba	0,74 Ba
F	0,75 Ab	0,57 Ab	1,04 Aa
Clone		Desgaste (Nota)	
A		2,28 a	
B		2,32 a	
C		1,86 b	
D		2,18 a	
E		2,06 b	
F		1,99 b	

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Em estudos realizados por Batista et al. (2016) ao analisarem a madeira de *Eucalyptus grandis* com 18 anos, observaram mortalidade de 77,25% na região do cerne, resultado superior ao encontrado neste trabalho, provavelmente esse resultado esteja associado à procedência e idade da madeira avaliada. Silva et al. (2004) realizaram estudos com madeira de *Eucalyptus grandis*, com idades entre 10 a 25 anos; e para as amostras com idade de 14 anos, foi constatado baixa resistência natural ao *Cryptotermes brevis*, com valor de desgaste de 3,2 e 48% para mortalidade, sendo os valores de mortalidade semelhantes aos de alguns clones desta pesquisa e os de desgaste superiores ao encontrado em todos os clones neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

Para as características dendrométricas e propriedades físicas, os clones E e A são os mais indicados para a produção de madeira serrada de qualidade superior, estando entre os de maior relação cerne:alburno e menor média absoluta de desvio da grã. O deslocamento e a excentricidade de medula foram semelhantes entre os clones avaliados.

Para as características da madeira, o clone E é o mais indicado para a produção de madeira serrada, independentemente do padrão de qualidade, pois teve maior volume sem casca e menor conicidade, características estas que interferem no rendimento e na produtividade de madeira serrada.

De maneira geral, o clone C produziu madeira de maior densidade. Assim, ele exige maior esforço e energia para o desdobro das toras, sendo de mais difícil secagem, mas, por outro lado, são materiais de maior resistência mecânica e melhores para construção civil.

Os valores de estabilidade dimensional (contrações da madeira) e de coeficiente de anisotropia dos clones de eucaliptos estudados indicaram que a secagem da madeira requer cuidados para evitar problemas como rachaduras e empenamentos.

Os ensaios não destrutivos apresentaram valores coerentes com os obtidos nos destrutivos. Assim os mesmos se mostraram como boa ferramenta para a avaliação das propriedades de flexão estática avaliadas.

Para a resistência mecânica e biológica aos agentes xilófagos (fungos e térmitas testados), o clone C foi o mais resistente. Tais resultados foram coerentes, uma vez que, este clone produziu madeiras mais densas e com elevados teores de extrativos, visto que estes podem ser constituídos de compostos tóxicos, com características inseticidas e fungicidas.

Assim, com base nas características gerais, o clone E é o mais indicado para a produção de madeira serrada com vistas à produção de produtos do processamento mecânico secundário (pisos, molduras e móveis) e construção civil.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, O. J. R.; JANKOWSKY, I. P. Prevenção e controle das rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, n.33, p.39-46, 1986.

ALMEIDA, N. A. et. al. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). **Cerne**, v.18, n.1, p.17-26, 2012.

ALVES, R. C.; MARTINS, T.; MANTILLA CARRASCO, E. V. Influência da densidade na velocidade de propagação da onda em sete espécies de madeira tropicais. **Natural Resources**, v. 3, n. 1, p. 6-13, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-215**: standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens. West Conshohocken, Annual Book of ASTM Standards, 2008, 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1107**: standard test method for ethanol-toluene solubility of wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1110**: standard test methods for water solubility of wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2017**: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**: standard method for laboratory evaluation of the wood and other cellulosic materials for resistance to termite. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1102**: standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-1876**: standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio by

Impulse excitation of vibration. West Conshohocken, Annual Book of ASTM Standards, 2007. 16p.

ANDRADE, C. R. et al. Calibrações NIRS para três propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v.16, p.9-14, 2010.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATI, M. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 89-99, 2001.

ANDRADE A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 100f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

ANJOS. V. A. et al. Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso. **Ciência da Madeira**, v. 2, n. 1, p. 53-63, 2011.

ASHLAY, P. N.; OZARKA, B. Furniture from young plantation grown eucalypts. In: THE FUTURE OF *Eucalyptus* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 150-158.

ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para a obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais....** Viçosa: DEF, SIF, UFV, IEF, 1999. p. 61-72.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9487**: classificação da madeira serrada de folhosas. Rio de Janeiro, 1986. 32p.

BAL, B. C.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. **BioResources**, v. 7, n. 4, p. 5117-5127, 2012.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BARBOSA, T. L. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: von GADOW, K.; BREDENKAMP, B. V. **Management of *Eucalyptus grandis* in South Africa**. Stellenbosch: Southern African Institute of Forestry, 1990. p.215-228.

BASSA, A. et al. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo LoSolids. **Scientia Forestalis**, v. 51, n. 75, p. 19-29, 2007.

BATISTA, D. C. et al. Effect of the Brazilian thermal modification process on the chemical composition of *Eucalyptus grandis* juvenile wood - part 1: cell wall polymers and extractives contents. **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, v.18, n.2, p.273-284, 2016.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p. 665-674, 2010.

BERTOLA, A. **Eucalipto – 100 anos de Brasil – “Falem mal, mas continuem falando de mim!”**. Curvelo: V&M Florestal Ltda., 2013, 91p.

BLANCHETTE, R. A.; BIGGS, A. R. **Defense mechanisms of woody plants against fungi**. Berlin: Springer-Verlag, 1992, 478p.

BRISCHKE, C. et al. Natural durability of timber exposed above ground - a survey. **Drvna Industrija**, v 64, n.2, p.113-129, 2013.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.154 p.

CAIXETA et. al. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.43-51, 2002.

CALIL JUNIOR, C. et al. SET 406 – Estruturas de madeira (Notas de aulas). São Carlos: USP, EESC, DEE, LaMEM, 2000, 102p.

CARREIRA, M. R. et. al,. Bending stiffness evaluation of teca and guajará lumber through tests of transverse and longitudinal vibration. **Acta Scientiarum Technology**, v. 34, n. 1, p. 27-32, 2012.

CARREIRA, M.R.; CANDIAN, M. Teste de um equipamento para classificação de peças estruturais de madeira pela técnica da vibração transversal. **Semina: Ciências Exatas e da Terra**, v.29, n.1, p. 3-14, 2008.

CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p. 271-276, 2015.

CARVALHO, A. M. et al. Correlações da altura e diâmetro com as tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, v.34, n.2, p. 323-331, 2010.

CHUI, Y. H.; BARCLAY, D. W.; COOPER, P. A. Evaluation of wood poles using a free vibration technique. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 27, n. 3, p. 191-195, 1999.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, chapter 14, 15p. (General Technical Report, FPL-GTR,190).

COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, D. M. Composição anatômica e química dos materiais lignocelulósicos: composição química de materiais lignocelulósicos. In: COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. (Ed.) **Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado**. Viçosa: UFV, 2015, p.31-57.

CORASSA, J. N. et al. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies florestais em ensaios de deterioração em campo. **Ciência da Madeira**, v.4, n.1, p.108-117, 2013.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n.64, p.33-47, 2003.

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto**. 2011. 126f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FEIO, A. O.; MACHADO, J. S.; LOURENÇO, P. B. Caracterização de propriedades da madeira de castanheira na direção perpendicular ao fio – recurso a técnicas destrutivas e não destrutivas de ensaio. In: CONGRESSO IBÉRICO: A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1, 2004, Guimarães. **Anais....** Braga: Universidade do Minho, 2004. p. 353-362.

FERRAND, J.Ch. Growth stresses and silviculture of eucalyptus, **Australian Forest Research**, v.13, v.1, p.75-81, 1983.

FRANÇA, F. J. N. **Propriedades da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GARCIA J. N. An alternative sawmill plant to improve *Eucalyptus* lumber quality. In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, 13., 1997, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: University of British Columbia, 1997. v.2, p. 865-874.

GATTO, D. A. et al. Proportion of juvenile wood of açoita-cavalo, pecan and London plane wood. **International Wood Products Journal**, v. 4, n. 1, p. 33-36, 2012.

GLASS, S.V.; ZELINKA, A.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, chapter 4, 19p. (General Technical Report, FPL-GTR,190).

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Willey & Sons, 1971. p. 241-226.

GONÇALEZ, J.C. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, n.3, p.329-341, 2006.

GONÇALVES, F. G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de térmita de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.1, p. 110-116, 2013.

GONÇALVES F.G. et. al,. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 277-288. 2009.

GONÇALVES, F. G. **Efeito da taxa de crescimento na qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para produtos sólidos**. 2006. 154f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília. 2006. Disponível em: < http://www.monumenta.gov.br/upload/Caderno%20Madeiraweb_1173383037.pdf>. Acesso em: 04 set. 2017.

GROSSER, D. **Defeitos de madeira**. Curitiba: Fupef, 1980. 62p. (Série Técnica, 2).

HERNÁNDEZ, R.; ALMEIDA, G. Effects of wood density and interlocked grain on the shear strength of three Amazonian tropical hardwoods. **Wood and Fiber Science**, v. 35, n. 2, p. 154-166, 2003.

HILLIS, W. H. Influence of forestry aspects. In: HILLIS, W. H. **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 1987, chapter 4, p.68-75.

HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Wood Science and Technology**, v. 2, n. 4, p. 241-259,1968.

HSING, T. Y. **Crescimento e qualidade da madeira de plantas jovens de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. 2013. 42f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília: 80p. Disponível em: < [http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_Relatorio Anual 2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_Relatorio%20Anual%202017.pdf) >. Acesso em: 15 nov. 2017.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Boletim técnico trimestral**. Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=pc&busca=boletim%20climatol%C3%B3gico>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/DIVISÃO DE MADEIRAS (IPT/DIMAD D-2). **Ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes***. São Paulo: IPT/DIMAD, 1980. 1p. (Publicação IPT, 1157).

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF/ESALQ/USP, 1995, p.109-118.

JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 607p.

KIRKER, G. T.; BISHELL, A. B.; LEBOW, P. K. Laboratory evaluations of durability of southern pine pressure treated with extractives from durable wood species. **Journal of Economic Entomology**, v.109, n.1, p. 259-266, 2016.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2007, v. 1, p. 271-366.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4. ed. Curitiba: UFPR, 2013. 85p (Manual Didático).

KOCH, G.; SCHMITT, U. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: FROMM, J. (Ed.). **Cellular aspects of wood formation**. Berlin: Springer-Verlag, 2013, p. 41-70.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. Principles of wood science and technology. New York: Springer-Varlag, v.1. 1968, 592p.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, v. 10, n.3, p.61-119, 1987.

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* spp. nas fases de desdobro e secagem. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p.62-69, 1997.

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1., p. 279-342.

LIMA, I. L.; FREITAS, J. A.; GARCIA, J. N. Influência da classe diamétrica nos índices de rachadura da madeira em *Liquidambar styraciflua*. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.1, p.117-123. 2013.

LIMA I.L.; GARCIA J. N. Influência do desbaste e da fertilização nos índices de rachamento após desdobro e secagem em madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, v.20, n.2, p.175-184. 2008.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamentoda medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, v.13, n.2, p.170-177, 2007.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. S. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, n.61, p.13-24, 2002.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M. C. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Scientia Forestalis**, v.58, p.111-125, 2000.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 1993. 298 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

LITTLE, N. S.; SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D. Termite-resistant heartwood. Effect of antioxidants on termite feeding deterrence and mortality. **Holzforschung**, v.64, p.395-398, 2010.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função de variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

LU, J. et al. Stilbene impregnation retards brown-rot decay of scots pine sapwood. **Holzforschung**, v.70, n.3, p.261-266, 2016.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). **Annals of Forest Science**, v.66, n.6, p.605-613, 2009.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvent for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1 -19.

MALAN, F. S. The control of end splitting in sawlogs: a short literature review. **South African Forestry Journal**, 109, 14-79p, 1979.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.

MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, v.4, n.1, p.83-92, 2013.

MENDES, L.M. et al. Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para a compra de madeira serrada. **Boletim Agropecuário**, n.21, p.16-29, 1996.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - MMA/SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2013**: dados de 2007- 2012. Brasília: MMA, 2013,188p.

MOORE, R. K. et al. The effect of polarity of extractives on the durability of wood. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD, FIBER, AND PULPING. 18, 2015, Vienna, **Proceedings...** Vienna: ISWFPC, 2015, 4p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2010. 175p.

MORI, C. L. S. et al. Caracterização da madeira de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (Benth.) Spreng.) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, p. 29-36, 2003.

MORRELL, J. J. Protection of wood and based materials. In: KUTZ, M. (Org.). **Environmental degradation of materials**. New York: Elsevier, 2012, p. 407-438.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v.48, n.2, p.411-433, 2014.

OLIVEIRA, A. C. et. al., Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v.38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S. et al., Caracterização da madeira de sete espécies florestais para construção civil: 1 avaliação dendrométrica das árvores. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 113-124, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 428f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p.99-278.

OPIE, J. E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W. D. Stand management. In: HILLS, W. E.; BROWN, A. G. (Eds.). **Eucalypts for wood production**. Sydney: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 179-197.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita *Nasutitermes corniger*. **Cerne**, v.21, n.4, p.569-578, 2015.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a térmitas xilófagos. **Cerne**, v.19, n.3, p.399-405, 2013.

PAES, J. B. et al. Eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a térmitas. **Cerne**, v.16, n.2, p.217-225, 2010.

PAES, J. B. et al. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.511-520, 2009.

PAES, J. B. et al. Resistência natural de sete madeiras ao térmita subterrâneo (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1, p.57-62, 2007.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove espécies de madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p.275-282, 2004.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D.Hill & L. A. S. Johnson a fungos e térmitas xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.761-767, 2002.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a térmitas subterrâneos em testes de laboratório. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.1-6, 2000.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, n.20, p.54-62, 2007.

PEDREIRA, B. C. C. G. et al. **Aspectos do agroturismo desenvolvido em venda Nova do Imigrante (ES) em subsídio ao levantamento do potencial agroturístico de Cachoeiras de Macacu (RJ)**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2012. 51p. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/NOTEBOOK/Downloads/DOC147-Aspectos-Agroturismo.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

PROGRAMA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - PROATER 2011 – 2013. 2011. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Centro_cerrano/Venda_Nova.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2017.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern Transvaal highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, 144, 10-22 p, 1988.

RÅBERG, U. et al. Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe-an overview. **Journal Wood Science**, v.51, n.5, p.429-440, 2005.

REINPRECHT, L. **Wood deterioration, protection and maintenance**. Chichester: John Wiley Blackwell, 2016, 376p.

REIS, A. P. et al. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, n.71, p.277-290, 2012.

REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M. *Eucalypts*. In: **Encyclopedia of biological invasions**. Simberloff, D.; Rejmánek, M. (Eds.). Berkeley: University of California Press, 2011, p. 203-209.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. 2. ed. New York: E & FN Spon, 2009. 226p.

RODRIGUES, A. M. S. **Análise e valorização bioinspirada dos metabólitos secundários responsáveis pela durabilidade natural de madeiras exploradas na Guiana Francesa**. 2010. 266f. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ROMANINI, A. et al. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Nativa**, v.2, n.1, p.13-17, 2014.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 39 p. (General Technical Report, FPL-GTR,70).

ROWELL, R. M. et al. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Org.). **Wood chemistry and wood composites**. Florida: CRC Press: 2005, p. 43 - 83.

SANTOS, R. C. et al. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 241-250. 2008.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N. Variação entre e intra clones nas rachaduras de topo em *Eucalyptus urophylla*. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 401-404 p.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.54, p.55-68, 1998.

SCHAITZA, E. G.; MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D. **Metodologias simples e baratas para análise de imagens planas**. Colombo: Embrapa, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 90).

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection and use**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 334p.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. Durability and protection. In: SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6. ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, chapter 10, p. 229 - 252.

SOUZA, M. A. M. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2006. 80f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

STACKPOLE, D.J. et al. Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 1, n.2, p. 151159, 2011.

STANGERLIN, D. M; MELO, R. R.; DOMINGUES, J. M. X. Determinação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** 2008, Londrina: UEL, IBRAMEM. CD ROM.

SEGUNDINHO, P.G.A. **Estudo das vibrações induzidas por pedestres em passarelas de madeira**. 2010. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2010.

SEGUNDINHO, P.G.A. et al. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1155-1161, 2012.

SILVA, L. F. et al. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, v.20, n.3, p.393-400, 2014.

SILVA, J. C. **Eucalipto: manual prático do fazendeiro florestal produzindo madeira com qualidade**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 106p.

SILVA, J. C.; CABALLEIRA LOPEZ, A. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex. Maiden ao ataque de térmita de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.583-587, 2004.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M. Foto decomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.11, n. 2, p. 7-13, 2004.

SIMPSON, W. T. (Ed). **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1991. 274p. (Agriculture Handbook, 188).

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980, 633p.

STEELE, P.H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison: USDA/Forest Service/ Forest Products Laboratory, p.1-8, 1984. (General Technical Report, FPL-GTR, 34).

STURION, J. A. et al. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 14, p. 28 - 38, 1987.

SUSIN, F. et. al, Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 243-250, 2014.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.291-299, 2005.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996.

TOMAZELI, A. J. et al. Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecno-lógica**, v.20, n.1, p.20-25, 2016.

TORRES, P. M. A. et al. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p.109-117, 2016.

TREVISAN, H. et al. Analysis of rigidity loss and deterioration from exposure in a decay test field of thermorectificated *Eucalyptus grandis* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 16, n. 2, p. 217-226, 2014.

TREVISAN, R. et. al,. Efeito de desbaste no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden.. **Scientia Forestalis**, n. 97, p. 75-81, 2013.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123f. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

VAN WYK, J.L., Hardwood sawmilling can have a bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, n.109, p. 47-53, 1978.

VERMAAS, H. F. A review of drying technology for young fast-grown eucalypts. In: THE FUTURE OF *Eucalyptus* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000, p. 193-203.

VIDAURRE, G. B. et al. Relação da grã com as propriedades tecnológicas da madeira de *Khaya ivorensis*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 249-259, 2017.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

WAUGH, G. Sawing of young, fast growing eucalypts. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA

TECNOLOGIA, 1.; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRIO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998, p. 69-81.

WEBB, C. D. Variation of interlocked grain in sweetgum. **Forest Products Journal**, v. 19, n. 8, p. 31-40, 1969.

WILKINS, A. P. Nature and origin of growth stress in trees. **Australian Forestry**, v.49, n.1, p. 56-62, 1986.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology**: decay and its prevention. California: Academic Press, 1992, 476p.